



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A DÍLCŮ

INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS AND COMPONENTS

OVĚŘOVÁNÍ MOŽNOSTI VYUŽITÍ RECYKLOVANÉHO AUTOSKLA JAKO NÁHRADY KŘEMIČITÉHO PÍSKU V POLYMERBETONOVÝCH PRŮMYSL OVÝCH PODLAHÁCH

THE DIPLOMA THESIS WAS PREPARED IN COOPERATION WITH ATEMIT. THE THESIS DESCRIBES THE SPECIFIC COMPOSITION AND PROPERTIES OF POLYMER INDUSTRIAL SUBSTRATES FROM ATEMIT RESEARCH.

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

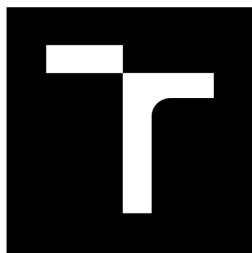
Bc. Dominik Šácha

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. LENKA BODNÁROVÁ, Ph.D.

BRNO 2019



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A DÍLCŮ

INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS AND COMPONENTS

**OVĚŘOVÁNÍ MOŽNOSTI VYUŽITÍ
RECYKLOVANÉHO AUTOSKLA JAKO NÁHRADY
KŘEMIČITÉHO PÍSKU V POLYMERBETONOVÝCH
PRŮMYSLOVÝCH PODLAHÁCH**

THE DIPLOMA THESIS WAS PREPARED IN COOPERATION WITH ATEMIT. THE THESIS DESCRIBES THE SPECIFIC COMPOSITION AND PROPERTIES OF POLYMER INDUSTRIAL SUBSTRATES FROM ATEMIT RESEARCH.

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Dominik Šácha

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. LENKA BODNÁROVÁ, Ph.D.

BRNO 2019



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3607T020 Stavebně materiálové inženýrství
Pracoviště	Ústav technologie stavebních hmot a dílců

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Dominik Šácha
Název	Ověřování možnosti využití recyklovaného autoskla jako náhrady křemičitého písku v polymerbetonových průmyslových podlahách
Vedoucí práce	doc. Ing. Lenka Bodnárová, Ph.D.
Datum zadání	31. 3. 2018
Datum odevzdání	11. 1. 2019

V Brně dne 31. 3. 2018

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

Drochytka, R. Plastické látky. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební. Studijní opora. 2008.

Databáze internetových vědeckých časopisů Web of science, Scopus a další.

Firemní materiály firmy Atemit.

Zahraniční a tuzemské odborné časopisy a sborníky z vědeckých symposií (2013-2018).

České a zahraniční technické normy.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Průmyslové podlahy nachází uplatnění v mnoha oblastech - od potravinářství, strojírenství, hutnictví, v chemickém průmyslu, až po nejrůznější sklady a parkovací domy. Podle typu provozu a zátěže se liší i požadavky na průmyslové podlahy. Diplomová práce je zaměřena na polymerní podlahové systémy. Diplomová práce je řešena ve spolupráci s firmou Atemit. V teoretické části diplomové práce popište polymerní podlahové systémy pro průmyslové podlahy. Definujte jednotlivé vrstvy, jejich materiály a popište způsob výroby polymerních podlahových systémů. Popište základní zkoušky pro verifikaci vlastností průmyslových polymerních podlahových systémů. V experimentální části diplomové práce ověřte možnost náhrady křemičitého písku, který je používán jako plnivo v polymerbetonových podlahách, recyklovaným autosklem. Navrhněte postup recyklace autoskla, aby bylo možno jej aplikovat jako plnivo do polymerbetonu. Provedte úpravu autoskla pro aplikaci do polymerbetonu a popište jednotlivé kroky. Provedte síťový rozbor připraveného recyklovaného autoskla. Navrhněte složení polymerního podlahového systému s recyklovaným autosklem a vyrobte zkušební vzorky. Ověřte vlastnosti vyrobeného polymerbetonu s recyklovaným autosklem, zejména pevnost v tahu za ohybu a pevnost v tlaku po 24 hodinách a provedte porovnání vlastností a vzhledu (především barvy) s referenčním komerčně vyráběným polymerbetonem s křemičitým pískem.

Doporučený rozsah min. 80 stran.

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchování vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

doc. Ing. Lenka Bodnárová, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Cílem této diplomové práce je zjistit možnost náhrady písků v polymerbetonových podlahových systémech recyklovaným autosklem. Polymerbeton je tvořen pískem a epoxidovou pryskyřicí. Je používán v průmyslových epoxidových systémech. Průmyslové polymerbetonové podlahové systémy jsou novým typem podlah. Cílí na zákazníky s vysokými nároky na kvalitu a požadavky na krátkou pokládku. Polymerbetonové podlahy jsou 4-6 mm tenké. Jsou voděodolné, s pevnostmi v tlaku vyššími než 60 MPa a pevnostmi v tahu většími než 20 MPa. Nesprašují. Tato studie zahrnuje také návrh recyklačního procesu na výrobu mletého skla z autoskel. Tato diplomová práce byla vytvořena ve spolupráci s firmou Atemit, s.r.o.

KLÍČOVÁ SLOVA

polymerbeton, průmyslová podlaha, podlahový systém, pryskyřice, epoxid, písek, sklo, autosklo, recyklace, náhrada

ABSTRACT

This diploma thesis has goal to find out possibility of substitution sand in polymer crete flooring system by recycling car glass. Polymer crete is made from sand and epoxy resin. Companies use it in industrial flooring system. Polymercrete industrial flooring systems are new types of floor surface. It aims to customers with high requirements to floor properties and short time of realisation. Polymercrete floors are 4-6 mm thin. They are waterproof, they has higher compressive strength then 60 MPa and tensile strength is more than 20 MPa. Polymercretes does not make dust. This study includes also suggestion of recycling process to make glass sand from car glass windows. The diploma thesis was prepared in cooperation with company Atemit, s.r.o.

KEYWORDS

polymer crete, industrial floor, flooring system, resin, epoxy, sand, glass, car glass, recycling, substitution

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Bc. Dominik Šácha *Ověřování možnosti využití recyklovaného autoskla jako náhrady křemičitého písku v polymerbetonových průmyslových podlahách*. Brno, 2019. 140 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce doc. Ing. Lenka Bodnárová, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Ověřování možnosti využití recyklovaného autoskla jako náhrady křemičitého písku v polymerbetonových průmyslových podlahách* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 10. 1. 2019

Bc. Dominik Šácha
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem *Ověřování možnosti využití recyklovaného autoskla jako náhrady křemičitého písku v polymerbetonových průmyslových podlahách* zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 10. 1. 2019

Bc. Dominik Šácha
autor práce

Poděkování:

Děkuji své vedoucí doc. Ing. Lence Bodnárové, Ph.D. za vedení mé diplomové práce a odborný dohled, firmě Atemit, s. r. o., především Ing. Miroslavu Tesaříkovi za konzultace, možnost podílet se na reálném projektu a dodávce základních surovin. Současně děkuji Ing. Jakobovi Hodulovi za pomoc a sdílení zkušeností. Dále děkuji Ing. Šárce Keprdové, Ph.D. za pevné nervy, spolupráci i dohled nad bezpečností práce. Jitce Slámové, která zajistila korektnost a jazykovou korekci. Panu Ing. P. Berkovi za umožnění prohlídky recyklační linky firmy Remat Glass s. r. o. a zodpovězení dotazů ohledně recyklace autoskla v praxi. Tato diplomová práce byla zpracována s využitím infrastruktury laboratoří Ústavu technologie stavebních hmot a dílců, FAST VUT v Brně, areálu firmy Atemit, s. r. o. a výzkumného centra AdMaS

I. Obsah

II. Teoretická část.....	14
1. Úvod.....	14
2. Základní informace o průmyslových podlahách	14
2.1. ČSN 74 4505: Podlahy – Společná ustanovení	14
3. Systémy průmyslových podlah	16
3.1. Polymerbetonová stěrka natíraná – skladba	17
3.2. Estetický polymerbetonový systém.....	20
3.3. Tenká přesypávaná stěrka.....	20
4. Zkoušení podlahových systémů	20
4.1. Zkoušky v laboratoři	21
4.2. Zkoušky v terénu	21
4.3. Zkušební metody	22
5. Vliv polymerních podlah na zdraví	26
6. Náhrada standardizovaných písků v polymerbetonech	27
7. Další zkušební metody použité k popisu vlastností polymerbetonů.....	28
7.1. ČSN EN 1097-3: Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva – Část 3: Stanovení sypané hmotnosti a mezerovitosti volně sypaného kameniva.....	28
7.2. ČSN EN 1097: Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva - Část 6: Stanovení objemové hmotnosti zrn a nasákavosti.....	29
7.3. ČSN EN 933-1: Zkoušení geometrických vlastností kameniva – Část 1: Stanovení zrnitosti – Síťový rozbor	29
8. Vlastnosti použitých materiálů	30
8.1. Autosklo	30
8.2. Epoxidová pryskyřice – Epoxid ST 100.....	30
8.3. Křemičité písky	31
9. Použité přístroje.....	32
9.1. Čelistový drtič Retsch BB 200.....	32
9.2. Kulový mlýn – omílací buben OM 20F	33
9.3. Planetový mlýn – Pulverisette 6	33
9.4. Laserová granulometrie – Mastersize 2000.....	35
10. Metodika práce	36
10.1. ETAPA I.....	36
10.2. ETAPA II	36
10.3. ETAPA III	36

10.4.	ETAPA IV.....	36
10.5.	ETAPA V.....	37
10.6.	ETAPA VI.....	37
10.7.	ETAPA VII.....	37
10.8.	ETAPA VIII.....	37
10.9.	ETAPA IX.....	38
10.10.	ETAPA X.....	38
10.11.	ETAPA XI.....	38
10.12.	ETAPA XII.....	38
10.13.	ETAPA XIII.....	39
III.	Praktická část.....	40
11.	Cíl.....	40
12.	ETAPA I.....	40
12.1.	Cíl.....	40
12.2.	Teoretický postup.....	40
12.3.	Použité pomůcky.....	40
12.4.	Postup.....	41
12.5.	Výsledek.....	41
12.6.	Diskuse nad výsledky ETAPY I.....	43
13.	ETAPA II.....	44
13.1.	Cíl.....	44
13.2.	Postup.....	44
13.3.	Použité pomůcky.....	44
13.4.	Výsledek.....	45
13.5.	Diskuse nad výsledky ETAPY II.....	46
14.	ETAPA III.....	47
14.1.	Cíl.....	47
14.2.	Postup.....	47
14.3.	Použité pomůcky.....	47
14.4.	Výsledek.....	48
14.5.	Diskuse nad výsledky ETAPY III.....	49
15.	ETAPA IV.....	50
15.1.	Cíl.....	50
15.2.	Postup.....	50

15.3.	Použité pomůcky	51
15.4.	Výsledek.....	51
15.5.	Diskuse nad výsledky ETAPY IV	54
16.	ETAPA V	56
16.1.	Cíl	56
16.2.	Postup	56
16.3.	Použité pomůcky	56
16.4.	Výsledek.....	57
16.5.	Diskuse nad výsledky ETAPY V	59
17.	ETAPA VI.....	60
17.1.	Cíl	60
17.2.	Postup	60
17.3.	Použité pomůcky	60
17.4.	Výsledek.....	61
17.5.	Diskuse nad výsledky ETAPY VI.....	64
18.	ETAPA VII	65
18.1.	Cíl	65
18.2.	Postup	65
18.3.	Použité pomůcky	65
18.4.	Výsledek.....	66
18.5.	Diskuse výsledků ETAPY VII	70
19.	ETAPA VIII	72
19.1.	Cíl	72
19.2.	Postup	72
19.3.	Použité pomůcky	73
19.4.	Výsledek.....	73
19.5.	Diskuse výsledků.....	75
20.	ETAPA IX.....	77
20.1.	Cíl	77
20.2.	Postup	77
20.3.	Použité pomůcky	78
20.4.	Výsledek.....	79
20.5.	Diskuse výsledků ETAPY IX.....	83
21.	ETAPA X	85

21.1.	Cíl.....	85
21.2.	Postup.....	85
21.3.	Použité pomůcky.....	86
21.4.	Výsledek.....	87
21.5.	Diskuse výsledků ETAPY X.....	91
22.	ETAPA XI.....	93
22.1.	Cíl.....	93
22.2.	Postup.....	93
22.3.	Použité pomůcky.....	94
22.4.	Výsledek.....	95
22.5.	Diskuse výsledků ETAPY XI.....	103
23.	ETAPA XII.....	106
23.1.	Cíl.....	106
23.2.	Postup.....	107
23.3.	Použité pomůcky.....	107
23.4.	Výsledek.....	108
23.5.	Diskuse výsledků ETAPY XII.....	114
24.	ETAPA XIII.....	115
24.1.	Cíl.....	115
24.2.	Popis.....	115
24.3.	Recyklační linka.....	116
24.4.	Domilací linka.....	120
24.5.	Třídící linka.....	121
25.	Závěr.....	122
IV.	Seznamy.....	130
26.	Bibliografie.....	130
27.	Seznam použitých obrázků.....	132
28.	Seznam grafů.....	133
29.	Seznam tabulek.....	134
30.	Seznam použitých zkratk.....	136
30.1.	Popisky.....	136
31.	Seznam příloh.....	137

II. Teoretická část

1. Úvod

Současná doba razí hrdě vpřed v duchu BIO a EKO. S globálním oteplováním za dveřmi, regulacemi evropské unie na krku a připomínkami ochránců přírody není možné drancovat povrch zemský jako v dobách průmyslové revoluce. Stále větší objem firem se snaží o bezodpadovou výrobu nebo hledá prvotní výrobní vstupy v řadách odpadového hospodářství.

Během studia na stavební fakultě v Brně jsem díky řadě rozhovorů s profesory a doktorandy jsem sestavil seznam oblastí možného využívání odpadů v praxi ve spolupráci s firmou Atemit. Jednak za účelem snížení nákladů a současně jako nastavení dalšího recyklačního koloběhu. Po konzultaci s doc. Ing. Lenkou Bodnárovou, Ph.D. a Ing. Miroslavem Tesaříkem, jsem zvolil z mého seznamu nápadů náhradu písků v průmyslových epoxidových podlahách recyklovaným autosklem. Díky výzkumu mých předchůdců je potvrzena proveditelnost tohoto záměru. Nyní zbývá návrh pracovního postupu přípravy autoskla pro použitelnost v průmyslových polymerbetonových podlahách a případné následné uvedení do praxe. S pomocí firmy Atemit a podpory stavební fakulty v Brně jsem se rozhodl této příležitosti zhostit.

2. Základní informace o průmyslových podlahách

2.1. ČSN 74 4505: Podlahy – Společná ustanovení

V této normě jsou definovány požadavky pro návrh, provádění i zkoušení podlahových konstrukcí pro interiér a také exteriér. Dokument se zabývá podlahami v bytové a občanské výstavbě, dále také průmyslovými podlahami, kterými se zabývá tato práce.

Polymerbetonové systémy se dle normy řadí do části povrchových úprav. Označují se jako stěrky. Dále velmi podobné jsou nátěry, ale ty se liší od stěrek jak tloušťkou, tak plnivem. Polymerbetony patří do oblasti stěrek s tloušťkou pohybující se v jednotkách mm. [1]

2.1.1. Požadavky na bezsparé podlahové systémy ze syntetických materiálů:

Pokládka povrchových úprav může probíhat pouze na vyzrálý podklad. [1]

Přesné parametry podkladu stanoví výrobce pojivového materiálu. V případě této diplomové práce byla použita epoxidová pryskyřice Epoxy ST 100, kde výrobce udává: [2]

Betonový podklad..... max. 4 % vlhkosti z hm.

Cementové stěrky max. 4 % vlhkosti z hm.

Anhydritová stěrka max. 0,3 % vlhkosti z hm.

Magnezitová stěrka..... 2-4 % vlhkosti z hm.

I sama norma připouští, že v případě polymerových bezspárých systémů může vzniknout riziko barevných rozdílů při navazování jednotlivých etap. Tento fakt je pro zákazníka, který si vyžádal estetickou podlahu velmi důležitý. Firmy se obecně snaží nekombinovat šarže jednotlivých výrobků a v rámci jedné pracovní etapy dodržovat stejné podmínky etapy. K řešení tohoto technického problému velmi napomáhá takzvaný natíraný systém. Nestejnoměrnou barevnost polymerbetonu řeší uzavírací nátěr, většinou ve dvojité vrstvě, který tvoří estetickou vrstvu, dává podlahové stěrce barvu vybranou zákazníkem a zajišťuje barevnou jednotnost výsledného povrchu. [1] [3]

Velmi důležitým bodem dle normy je u popisovaných syntetických podlah dokonalá soudržnost stěrky s podkladem. Materiály musí spolupůsobit i při rozdílném chování v daných podmínkách. To znamená, že v případě pokládky polymerbetonové stěrky na betonovou desku, musí být zajištěna dostatečná soudržnost mezi těmito vrstvami. V případě nevyhovění by mohlo dojít k odlupování nesoudržných vrstev při pojezdu stěrek paletovými nebo vysokozdvíhými vozíky s břemeny. K tomu účelu slouží takzvaný kotevní můstek, jinak řečeno penetrace podkladu, který zajistí dostatečnou adhezi pochozí stěrky s podkladní betonovou vrstvou. [1] [3]



Obrázek 1 Polymerbetonová podlaha s barevným nátěrem [3]

3. Systémy průmyslových podlah

Typy podlah lze rozdělit na několik druhů dle několika úhlů pohledu. [4] [3] [5] [6]

Dle tloušťky:

- Tenký systém – cca 1-3 mm
- Polymerbetonový systém – cca 5-6 mm
- Tlustý polymerbetonový systém – více jak 10 mm

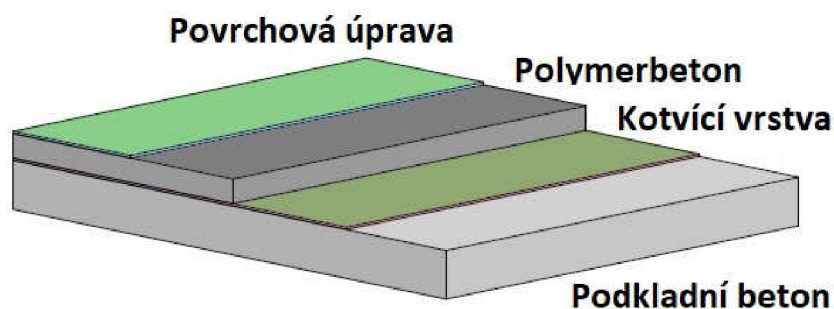
Dle typu materiálu:

- Epoxidy
- Polyuretany
- Methyl-methakryláty
- Polyestery

Dle požadovaných vlastností:

- Mechanicky odolné
- Chemicky odolné
- Teplotně odolné
- Antistatické podlahy
- Dekorativní podlahy

3.1. Polymerbetonová stěrka natíraná – skladba



Obrázek 2 Skladba polymerbetonové stěrky [8]

3.1.1. Podkladní vrstva

Podklad pro pokládku polymerbetonové stěrky musí být soudržný, pevný, staticky únosný a bez živých trhlin. V případě obsahu mastnoty nebo spodní vody je nutné provedení speciálního opatření. Přestože je možné provádět pokládku na jakýkoliv soudržný podklad (stará polymerbetonová stěrka, samonivelační cementová stěrka, keramická dlažba, ocel, atd.) je ideální odstranit veškeré staré vrstvy až na zdravý beton. Betonová deska by měla mít alespoň 20 MPa v tlaku a přídržnost povrchové vrstvy 1,5 MPa. Obsah vlhkosti max. 4 % a stáří minimálně 28 dnů. [1] [7]



Obrázek 4 Původní betonová deska [29]



Obrázek 3 Sanovaná betonová deska frézováním [29]

Podkladní vrstva, která vyhovuje požadavkům na přídržnost, pevnost v tlaku a obsah cizích kapalných fází, je možné předupravit pouze broušením, případně tryskáním povrchové vrstvy. Tento proces má za cíl odstranit cement a starou svrchní vrstvu betonu do hloubky v řádech μm . Popsaný postup se provádí i v případě nového betonu či drátkobetonu.

V případě nerovností, nesoudržných vrstev na povrchu nebo přítomnosti jiného materiálu na betonové desce, např. lepidlo pod PVC nebo samonivelační cementový potěr, je nutné tuto vrstvu ofrézovat v celé tloušťce a následně vzniklé nerovnosti srovnat broušením. [3] [7]

3.1.2. Kotvící mezivrstva

Kotvící mezivrstva neboli penetrační nátěr je nezbytnou součástí každé polymerní podlahy. Zajišťuje kvalitní napojení podkladní vrstvy s polymerbetonovou stěrkou. Jelikož beton je nasávkavý materiál, tak by mohl při pokládce polymerbetonu bez penetračního nátěru odebrat



Obrázek 5 Kotevní můstek - penetrační nátěr [28]

polymerbetonu pojivo a snížit jeho pevnost i soudržnost. Penetrační nátěry se tradičně provádí za pomoci pryskyřice, která zaujímá post pojiva v polymerbetonu, a dále křemičitého písku, který je rovněž následně použit i pro výrobu polymerbetonu. Dle receptury realizační firmy se pryskyřice rozprostře po povrchu realizované plochy a následně se popráší křemičitými písky. Plnění písky se provádí do chvíle, kdy se pryskyřice nasytí a již ztratí schopnost obalení zrna pryskyřicí. Dle technologického postupu daného podlahového systému následuje další etapa buď až po vytvrzení pryskyřice (po 24 h) nebo okamžitě před vytvrzením pryskyřice. Většinou je používána dvousložková pryskyřice. [3] [7]

3.1.3. Polymerbeton



Obrázek 6 Polymerbeton detail [29]



Obrázek 7 Hutnění polymerbetonu [29]

Polymerbeton je stěžejní část tlustých podlahových systémů tl. 4-6 mm. Tato vrstva je předmětem této diplomové práce. Pro svou velkou mocnost oproti kotvící mezivrstvě nebo

nátěru je cílem dosažení optimální rovnováhy mezi minimální dávkou pryskyřičného pojiva a pevností systému. Množství pojiva je takové, aby obalilo kamenivo, vytvořilo kontaktní vrstvu mezi zrný písku a zajistilo požadované pevnosti větší než 60 MPa v tlaku a minimálně 25 MPa v tahu za ohybu. Proto je nutné pokládat polymerbetonovou vrstvu na penetrační nátěr. Nerovný povrch vystouplých zrn písku zajistí dostatečně velkou kotvící plochu pro polymerbetonové tělo systému a pryskyřičný základ penetračního nátěru zabrání vsakování pojiva z polymerbetonu. Připravená směs písku a pryskyřice se nanáší v tloušťce mezi 5-8 mm v závislosti na požadované výsledné mocnosti podlahy. Povrch penetračního nátěru je po vytvrzení nutno obrousit a vysát před zahájením pokládky polymerbetonu. Nanesená vrstva polymerbetonu se hutní. V okolí stěn se zarovnává do požadovaného tvaru (např. hygienické fabiony). Dilatace jsou prováděny v této fázi realizace podlahy.

Polymerbetony díky své tloušťce dokáží vyrovnat lokální nerovnosti např. dutinu. Z těchto důvodů se polymerbetony používají na vyspravení drobných lokálních nerovností. [3] [7] [8]

3.1.4. Povrchová úprava

Na obroušené a vysáté tělo systému se nanáší nátěr ve dvou vrstvách – uzavírací a krycí nátěr. Tato finální vrstva z estetického hlediska sjednocuje barevnost podlahy, zlepšuje chemickou odolnost a dodává podlaze finální vzhled. Polymerbetonová vrstva musí být dokonale rovná bez pórů, jelikož finální nátěr věrně kopíruje podklad. V případě požadavku investora je možné nastavit v nátěru protismykové vlastnosti

plněním křemičitými či korundovými písky. Nátěr také umožňuje vícebarevné rozlišení ploch bez nutnosti dilatace (uličky pro pěší provoz, značení, atd.). Dilatační spáry se tmelí a následně překrývají nátěrem.



Obrázek 8 Polymerbetonová podlaha s barevným uzavíracím nátěrem ATEMIT EPT [27]

3.2. Estetický polymerbetonový systém

Další možnou variantou polymerbetonových podlah je využití estetické stránky struktury polymerbetonu. Je možné reliéf povrchu zvýraznit použitím barevných písků jako plniva a transparentní pojivovou pryskyřici. Celý podlahový systém je jeden estetický celek, ale je za ním nemálo úsilí. Podlaha musí dosahovat pevnosti v tlaku nad 90 MPa, pevnosti v tahu za ohybu minimálně 35 MPa



Obrázek 9 Estetický polymerbetonový systém ATEMIT PTQ [30]

a výrazně vyšší odolnost vůči obrusu ($AR < 0,1$ dle metody STO BCA). Veškeré vlastnosti celé podlahy jsou úzce závislé na kvalitě polymerbetonového těla systému. Mocnost je stejná 4-6 mm dle typu systému, ale zde se nanáší pouze matovací transparentní lak. Aby podlaha působila estetickým dojmem, kombinují se různě barevné písky o specifické granulometrii. [3]

3.3. Tenká přesypávaná stěrka

Dle tloušťky je nejjednodušší systém tenká přesypávaná stěrka. Dosahuje tloušťky 1-3 mm v závislosti na typu podlahy a množství požadovaných vrstev. Tato stěrka neobsahuje polymerbeton jako takový. Celý podlahový systém tvoří pouze „kotvící vrstvy“. Technologie je velice jednoduchá. Sestává z rozprostření předepsané tloušťky pryskyřičné vrstvy, která se přesypává plnicím pískem. Tyto dva prosté kroky tvoří jednu vrstvu tenkého systému. Každá vrstva se nechá vytvrdit do druhého dne, přebrousí se a vysaje průmyslovým vysavačem. Obvykle podlaha tloušťky 1-2 mm sestává z 3 vrstev a tloušťky 2-3mm se dosahuje 4-5 vrstvami. Nakonec se vytvrzený tenký systém pokryje dvěma vrstvami nátěru. [3]

4. Zkoušení podlahových systémů

Základní zkoušení podlah pro verifikaci parametrů průmyslové podlahy se dělí na dva typy. Na zkoušky prováděné na zabudované konstrukci a laboratorní zkoušky. Téměř vždy se jedná o zkoušky destruktivní nebo ovlivňující estetický charakter systému. Z tohoto důvodu

se provádí pouze na přání zákazníka. Podstatnou součástí polymerbetonových systémů jsou pryskyřice. Značnou část vlastností povrchů zajišťují pryskyřice, jejich vlastnosti jsou deklarovány výrobcem. [2]

4.1. Zkoušky v laboratoři

- Pevnost v tlaku a v tahu za ohybu (dle ČSN EN 13892-2)
- Stanovení tvrdosti povrchu (dle ČSN EN 13892-6)
- Stanovení odolnosti proti ohrusu metodou BCA(ČSN EN 13892-4)
- Zkoušení elektrostatických vlastností výrobků (dle ČSN 34 1382)

4.2. Zkoušky v terénu

- Pohledové vlastnosti (stálobarevnost, charakteristika viditelného povrchu, dle ČSN 74 4505)
- Rovinnost na lati a celková rovinnost (dle ČSN 74 4505)
- Tloušťka vrstvy (dle ČSN 74 4505)
- Stanovení přídržnosti povrchových vrstev (dle ČSN EN 13892-8)
- Zkoušení elektrostatických vlastností materiálů (dle ČSN 34 1382)

4.3. Zkušební metody

4.3.1. ČSN EN 13892-2: Zkušební metody potěrových materiálů – Část 2: Stanovení pevnosti v tahu za ohybu a pevnosti v tlaku

Stanovení pevností v tahu za ohybu a tlaku se provádí na zkušebních vzorcích o rozměrech $40 \times 40 \times 160$ mm. Každé zkoušené těleso musí mít stáří 28 dnů, pokud výrobce neprokáže, že požadované třídy vlastností je možné dosáhnout dříve (pryskyřice 7 dnů). Očištěný vzorek se zváží, změří a umístí do zkušebního zařízení na zkoušení v tahu tříbodovým ohybem. [9]
[2]

Pevnost tahu za ohybu:

$$R_f = \frac{1,5 \cdot F_f \cdot l}{b \cdot d^2} = [N/mm^2]$$

F_fZatížení v Newtonech (N), které vede k porušení při zkoušce v tahu za ohybu

lVzdálenost v milimetrech (mm) mezi osami dvou válcových podpěr při zkoušce v tahu za ohybu

bŠířka zkušebního tělesa v milimetrech (mm) pod středovým válcem při zkoušení pevnosti v tahu za ohybu v poloze „jak je zkoušeno“; tj. b je tloušťka v poloze „jak je odlito“

dTloušťka zkušebního tělesa v milimetrech (mm) pod středovým válcem při zkoušení pevnosti v tahu za ohybu v poloze „jak je zkoušeno“; tj. d je šířka v poloze „jak je odlito“

R_fPevnost v tahu za ohybu v N/mm^2 , vypočtená z výsledku zkoušky

Pevnost v tlaku:

Poloviny vzorků po zkoušce v tahu za ohybu se umístí do zkušebního zařízení na stanovení pevnosti v tlaku. Na vzorek se přiloží destičky pro zajištění vyvozování tlaku na boční stěny vzorku. Zatížení se vyvozuje do prvního porušení. [9]

$$R_c = \frac{F_c}{A} = [N/mm^2]$$

F_c Zatížení v Newtonech (N), které vede k porušení při zkoušce v tlaku

A Plocha zkušebního tělesa, která při zkoušce v tlaku ve styku s tlačnými deskami (obvykle 1600 mm²)

R_c Pevnost v tahu za ohybu v N/mm² vypočtená z výsledku zkoušky

4.3.2. ČSN EN 13892-8: Zkoušení metody potěrových materiálů – Část 8: Stanovení přídržnosti

Na zkoušený povrch se nanese lepidlo, např. pryskyřice, a s jeho pomocí se přilepí zkušební terč kruhového nebo čtvercového půdorysu. Čtvercový terč se používá v případě tloušťky zkoušené vrstvy větší než 20 mm. Okolo terče se vyřeže drážka s pomocí vyřezávacího prstence nebo pily a do hloubky alespoň 5 mm do podkladu. Plynulé namáhání zkoušeného místa s pomocí odtrhového zkušebního přístroje se provádí až do porušení. Následně se stanoví, ve které vrstvě došlo poškození (lepidlo, styk lepidla a povrchové úpravy, ve zkoušené vrstvě povrchové úpravy, styk podkladu a povrchové úpravy nebo v podkladu). Žádoucí je odtrh v podkladu, tedy prokázání vyšší soudržnosti v tahu zkoušené vrstvy než soudržnosti podkladní vrstvy. Zkoušení by mělo být provedeno na minimálně 5 místech s rozstupem alespoň 50 mm. [10]

$$B = \frac{F}{A} = [N/mm^2]$$

F Zatížení vynaložené při porušení [N]

A Zkušební plocha [mm²]

B Přídržnost [N/mm²]

4.3.3. ČSN EN 13892-6: Zkoušení metody potěrových materiálů – Část 6: Stanovení tvrdosti povrchu

Tvrdost povrchu se stanoví z vzniklé hloubky vtlačení ocelové kuličky na povrchu zkoušené plochy a vtlačené pod normalizovaným tlakem. Tvrdost se stanovuje na 3 tělesech zhotovených dle EN 13862-1. Změřené a zvážené těleso se zkouší. Na ocelovou kuličku bez rázů se vyvodí počáteční zatížení F_v (10±0,1) N (předběžné zatížení). Následně se změří počáteční hloubka nebo se vynuluje měřící zařízení. Na ocelovou kuličku se vyvodí síla F , hlavní zatížení (500±5) N a bude působit 1 minutu. Poté se zatížení uvolní na počáteční zatížení F_v (10±0,1) N. Opět po 1 minutě se odstraní kulička a změří se hloubka t , jako nárůst hloubky od její počáteční hodnoty. [11]

$$SH = \frac{F}{d \cdot \pi \cdot t} = [N/mm^2]$$

d.....Průměr ocelové kuličky

t.....Hloubka vtlačení

F_v.....Počáteční zatížení (10±0,1) N

F.....Hlavní zatížení (500±5) N

SH.....tvrdost povrchu vypočtená z výsledků zkoušky [N/mm²]

4.3.4. ČSN EN 13892-4: Zkušební metody potěrových materiálů – Část 4: Stanovení odolnosti proti obrusu metodou BCA

Zkušební těleso se zhotoví dle EN 13892-1. Je nutné zkušební těleso vyrobit na čtvercové desce o nejmenší délce strany 500 mm a nejmenší tloušťce 50 mm nebo jej nanést na betonovou desku o tl. 50 mm. Na rovný a suchý povrch se vyznačí dle šablony obrys pro zkoušení a očísluje se 8 měřících míst. Měřící zařízení se vynuluje a nastaví pro měření. Po namontování zkušebního zařízení se zahájí zkouška obrusu na 2 850 ± 10 otáček. Po ukončení se zkušební přístroj odstraní a na 8 vyznačených místech se změří hloubka s přesností 10 μm. Výsledek se stanoví z 8 průměrných odečtených hloubek. [12]

$$AR = d_w - d_o$$

AR.....Odolnost proti obrusu metodou BCA vyjádřená hloubkou obrusu [μm]

d_o.....Průměrná hloubka obrusu z měření na všech osmi měřících bodech před zkouškou [μm]

d_w.....Průměrná hloubka obrusu z měření na všech osmi měřících bodech po ukončení zkoušky [μm]

4.3.5. ČSN 34 1382: Zkoušení elektrostatických vlastností materiálů a výrobků

Měření vnitřního odporu podlahovin a povrchových úprav se používá kovová válcová přitlačná elektroda o průměru 50,4 mm a podložná kruhová elektroda o průměru 100,8 mm a tloušťce 10 mm.

U laboratorně zkoušených vzorků se vzorky vloží mezi podložnou kovovou elektrodu a přitlačnou elektrodu. Mezi vzorek a elektrody se může vložit navlhčený filtrační papír, grafitové elektrody, tekuté elektrody nebo vodivá pryž. Během měření musí kovová elektroda zajišťovat tlak 4 kPa. Vyhodnocení výsledků se provádí dle čl. 2.2.2 ČSN 33 2030-84.

Dle výsledků se rozřadí podlahoviny do následujících kategorií:

Elektricky vodivé.....	$R_v < 5 \cdot 10^4 \Omega$
Elektrostaticky vodivé.....	$5 \cdot 10^4 \Omega \leq R_v \leq 10^6 \Omega$
Antistatické.....	$5 \cdot 10^4 \Omega \leq R_v \leq 10^8 \Omega$
Částečně vodivé.....	$5 \cdot 10^4 \Omega \leq R_v \leq 10^9 \Omega$

R_v Vnitřní odpor, poměr stejnosměrného napětí ustáleného proudu tekoucího vnitřkem zkoušeného tělesa mezi dvěma elektrodami dotýkajícími se povrchu zkoušeného výrobku (materiálu).

V případě hotových podlah se použije opět elektroda výše popsaná. Podlaha se rozdělí na čtverce o rozměrech 1 m² a každý takový čtverec se dokonale očistí lihem. Na povrch se položí vlhký filtrační papír nebo vodivá pryž, případně se nanese tekutá elektroda a přiloží se přitlačná kovová elektroda. Při měření musí kovová elektroda stále vyvíjet tlak 4 kPa. Svodový odpor se měří mezi přitlačnou elektrodou a definovanou zemí. Měření se provádí nejdříve dva týdny po položení podlahy a opakuje se každých 12 měsíců. Vyhodnocení výsledků se provádí dle čl. 2.2.2 ČSN 33 2030-84. [13]

4.3.6. ČSN 74 4505: Podlahy společná ustanovení: Část 7 zkoušení

Charakteristika viditelného povrchu:

Celkový vzhled podlahy se posuzuje z výšky 1600 mm při světelném osvětlení, které je rovno osvětlení při používání plochy. Vzhled není možné hodnotit při pohledu od odlesku světla. [1]

Stálobarevnost:

Posuzuje se z výšky 1600 mm. Případně je možné jej posuzovat dle ČSN EN ISO 105-X 12, ČSN EN ISO 105-E01, ČSN EN SIO 105-B02. [1]

Celková rovinnost povrchu vrstvy:

Odchyly od předepsané roviny se měří geodeticky. Měřené body se v ploše rozmisťují rovnoměrně, 5 míst na každých 100 m². Body se umisťují minimálně 100 mm od nejbližší svislé plochy. [1]

Místní rovinnost povrchu vrstvy:

Měření se provádí s pomocí dvoumetrové latě s podložkami na koncích o půdorysných rozměrech 10 × 10 mm nebo 20 × 20 mm. S pomocí odměrného klínu se změří maximální a minimální vzdálenosti od povrchu k spodnímu líci latě. Odměrný klín má délku 220 mm a tloušťku 20 mm. Jeho výška i sklon je volena dle potřeby. Měření se provádí na minimálně 5 zkušebních místech na každých 100 m². [1]

Tloušťka vrstvy:

Ověření mocnosti položené vrstvy povrchové úpravy se stanoví pomocí sond, jádrových vývrtů nebo jiných vhodných metod. [1]

5. Vliv polymerních podlah na zdraví

Z důvodů rychlého vytvrzování, obrovské variabilitě použití a dobrým vlastnostem polymerbetonových podlah s epoxidovými pryskyřicemi nacházejí tyto systémy v současné době masivní rozšíření v realizaci průmyslových podlah. Epoxidy nebo pryskyřice obecně mohou mít neblahý vliv na kontakt s kůží. Proto důvodu je nutné dodržovat bezpečnostní pokyny výrobce a používat ochranné rukavice. Přesto není příliš probádaná oblast vlivu výparů z epoxidových pryskyřic na zdraví člověka. Po vytvrzení nedochází k uvolňování látek ze systému, ovšem během pokládky polymerbetonových podlah se z tekutých pryskyřic mohou uvolňovat látky, které by mohly nepříznivě ovlivňovat zdraví pracovníků.

Výzkum finského ústavu pro zdraví se zaměřil na vliv práce s epoxidovými pryskyřicemi na occupational asthma (OA – pracovní astma). Byla sbírána data retrospektivně z vyšetření dělníků, kteří míchali epoxidové pryskyřice s jejich tvrdidly. Soubor informací pocházel z let 1997-2018.

Bylo zjištěno, že ze souboru sledovaných pracovníků 13 % případů mělo pozitivní odezvu na sledované OA. Průměrná doba vystavení pracovníků účinkům uvolňovaných výparů míchání epoxidových pryskyřic s tvrdidly byla 10 let. Závěrem bylo řečeno, že dlouhodobý kontakt s těmito syntetickými látkami může u určitých jedinců způsobit OA. Firmy pracující v tomto prostředí upozorňují své zaměstnance, že jednou za pár let se může vyskytnout u dělníků

nesnášenlivost nebo alergická reakce na pryskyřice obecně. Tito lidé jsou většinou nuceni změnit obor svého zaměstnání. [14] [15]

6. Náhrada standardizovaných písků v polymerbetonech

Na epoxidových polymerbetonech bylo prováděno mnoho měření a výzkumů. Díky vysoce nadprůměrným vlastnostem mají epoxidy samy o sobě značně vysoké pevnosti i odolnosti vůči působení vnějšího prostředí. V oblasti plniva epoxidů bylo zkoumáno, jak dalece ovlivňují recyklované písky vlastnosti polymerbetonů oproti polymerbetony se standardizovanými písky. V periodiku Construction and Building Materials se jeden článek zajímá porovnáním polymerbetonů s různou velikostí náhrady standardizovaných písků recyklovanými písky. Tyto materiály jsou porovnávány cementovými maltami.

Polymerbetony s recyklovanými písky způsobily oproti polymerbetonům se standardizovanými písky a cementovým maltám horší zpracovatelnost. Práce obsahuje čtyři hlavní receptury s obsahem epoxidu v polymerbetonu. Epoxidová pryskyřice byla dávkována v množství 9 %, 12 % a 20 % z celkové hmotnosti polymerbetonu se standardizovanými písky. Epoxid ve směsi s recyklovanými písky byl v množství 20 % z celkové hmotnosti. Sledování probíhalo u vlastností pórozity, pevnosti v tahu, pevnosti v tlaku, vývoje chloridových iontů a elektrického odporu. Bylo zjištěno, že recyklované písky způsobily pokles vlastností polymerbetonů s 20 % epoxidu na úroveň polymerbetonů se standardizovanými písky a obsahem epoxidu mezi 9-12 %. Přesto i takto zredukované vlastnosti stále dalece ve všech ohledech přesahují cementové malty. [16]

7. Další zkušební metody použité k popisu vlastností polymerbetonů

7.1. ČSN EN 1097-3: Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva – Část 3: Stanovení sypané hmotnosti a mezerovitosti volně sypaného kameniva

U sypkých materiálů je vypovídající hodnotou mezerovitost, která udává jaké množství prostoru je nutno vyplnit, aby vznikl hutný materiál. Tato hodnota je velmi důležitá z hlediska spotřeby pojivových materiálů. Mezerovitost se stanoví z hodnot objemové hmotnosti materiálu a sypané hmotnosti volně sypaného/zhutněného sypkého materiálu. [17]

7.1.1. Mezerovitost:

$$v = \frac{\rho_p - \rho_b}{\rho_p} \cdot 100 = [\%]$$

v Mezerovitost volně sypaného kameniva [%]

ρ_p Objemová hmotnost zrn kameniva [$\text{Mg} \cdot \text{m}^{-3}$]

ρ_b Sypaná hmotnost volně sypaného kameniva [$\text{Mg} \cdot \text{m}^{-3}$]

7.1.2. Sypaná hmotnost:

Sypaná hmotnost volně sypaného kameniva ρ_b se stanoví podle vztahu:

$$\rho_b = \frac{m_2 - m_1}{V} = [\text{Mg} \cdot \text{m}^{-3}]$$

ρ_b Sypaná hmotnost volně sypaného kameniva [$\text{Mg} \cdot \text{m}^{-3}$]

m_1 Hmotnost prázdné nádoby [kg]

m_2 Hmotnost nádoby se zkušební navázkou [kg]

V Objem nádoby [l]

7.2. ČSN EN 1097: Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností

kameniva - Část 6: Stanovení objemové hmotnosti zrn a nasákavosti

Stanovení objemové hmotnosti zrn předem vysušených udává poměr mezi hmotnostmi suchého vzorku kameniva objemem, který zaujímá ve vodě včetně objemu vnitřních uzavřených pórů, ale bez objemu vody ve všech přístupných pórech. Zkouška se provádí s pomocí pyknometrů o přesně známém objemu a jejich postupném vážení prázdných pyknometrů, s navázkou a navázkou s vodou (v rámci diplomové práce byly vzorky považovány za 100 % nenasákavé). [18]

7.2.1. Pyknometrická metoda pro zrna kameniva frakce 0,063-4 mm

$$\rho_{rd} = \frac{M_4}{M_1 - (M_2 - M_3)} \cdot \rho_w = [Mg \cdot m^{-3}]$$

M_4 hmotnost v sušárně vysušené zkušební navážky na vzduchu [g]

M_2 hmotnost pyknometru naplněného vodou a rozetřeným zkušebním tělesem [g]

M_3 hmotnost pyknometru naplněného vodou [g]

M_1 hmotnost vodou nasáklého a povrchově osušeného kameniva na vzduchu [g]

ρ_w hustota vody při zkušební teplotě [$Mg \cdot m^{-3}$]

ρ_{rd} objemová hmotnost zrn kameniva frakce 0,063-4 mm [$Mg \cdot m^{-3}$]

7.3. ČSN EN 933-1: Zkoušení geometrických vlastností kameniva –

Část 1: Stanovení zrnitosti – Sítový rozbor

Významným parametrem potřebným k popisu kameniva či plniva je granulometrie. K jejímu stanovení se používá sady sít. Sada je složena od největších ok síta až po ty nejmenší. Toto sestupné uspořádání zajistí při prosévání rozložení kameniva dle velikosti zrn. Vyjádřením poměru hmotnosti zůstatku na síti vzhledem k celkové navážce se stanoví procentuální zastoupení jednotlivých frakcí. [19]

Kamenivo v rámci diplomové práce bylo proséváno suché. Při odběru vzorku z většího množství materiálu byly odběry prováděny na více místech a následně homogenizovány pro zajištění vypovídajících výsledků o kamenivu.

8. Vlastnosti použitých materiálů

8.1. Autosklo

Autosklo z osobních i nákladních aut od firmy Autosklo Café&GO!



Obrázek 10 Kusové autosklo (autor)

8.2. Epoxidová pryskyřice – Epoxid ST 100

Tabulka 1 Charakteristika epoxidové pryskyřice (viz příloha 1)

Popis	Složka A	Složka B	Směs
Hustota (25°C) [kg·m ⁻³]	1120	1030	1100
Viskozita (25°C) [mPa·s]	870	200	600

8.2.1. Pevnosti malty při poměru 1:10 s normovým pískem:

Pevnost v tlaku: 42 N/mm²

Pevnost v tahu za ohybu: 11 N/mm²

8.2.2. Další parametry epoxidové pryskyřice

Doba vytvrzení při 20°C a 60 % relativní vlhkosti vzduchu:

Pěší provoz 24 h

Mechanicky zatížitelný 3 dny

Plné mechanické i chemické zatížení 7 dnů

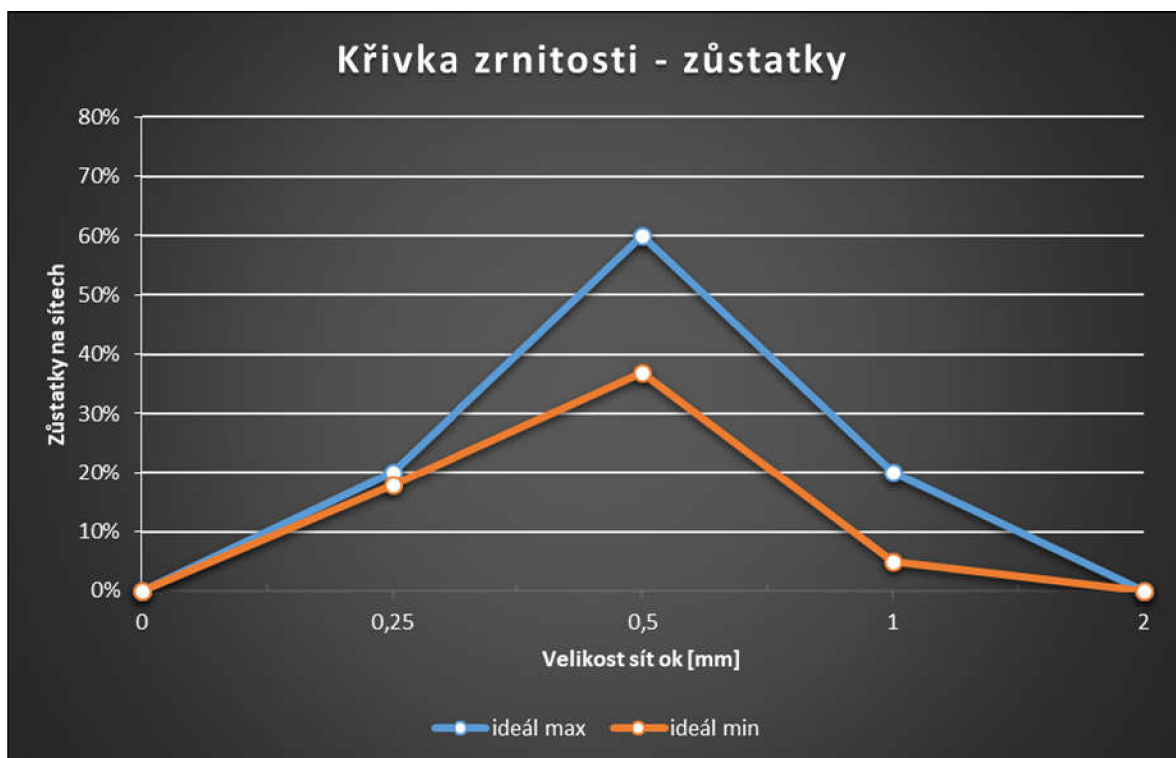
Informace o vlastnostech jsou převzaty z technického listu – viz příloha 1

8.3. Křemičité písky

Dodané firmou Atemit. Označení ATM.

Tabulka 2 Horní a dolní křivka cílené zrnitosti

Meze křivky zrnitosti	Zůstatky na sítích (velikost ok sít v mm)				
	2	1	0,5	0,25	0
Max	0%	20%	60%	20%	0%
Min	0%	5%	37%	18%	0%



Graf 1 Křivka zrnitosti - hranice ideální křivky zrnitosti

9. Použité přístroje

9.1. Čelistový drtič Retsch BB 200

Přístroj sestavený k rozmělnění suroviny tlakem mezi statickou a pohyblivou čelistí. Plnění je horní skrz bezpečnostní nástavec, který svým tvarem zabraňuje během plnění kontakt ruky s pohyblivými se čelistmi. Štěrbina mezi čelistmi je nastavitelná. [20]

9.1.1. Parametry přístroje:

Aplikace	hrubování a předemletí
Příklady aplikací.....	čedič, keramika, stavební materiály, sklo, atd.
Vstupní velikost materiálu	< 90 mm
Konečná jemnost.....	< 2 mm
Šířka čelistí	90 × 90 mm
Nastavení rozsahu štěrby	0-30 mm
Zobrazení rozsahu štěrby	škála
Odklápěcí násypka	ano
Objem sběrné nádoby.....	5 l
Pohon.....	jednofázový / třífázový motor
Síla pohonu.....	1,5 kW
Připojení k elektrické síti	1 fázové / 3 fázové
Š × V × H zavřený.....	450 × 1160 × 900 mm
Váha netto	~ 300 kg
Normy	CE [20]



Obrázek 11 Čelistový drtič Retsch BB 200 (autor)

9.2. Kulový mlýn – omílací buben OM 20F

Kulový mlýn sestává z bubnu, který obsahuje mlecí tělesa kulovitého tvaru z železa. Při mletí je možné nastavovat frekvenci otáček od cca 15-75 ot·min⁻¹, dobu mletí a vysypávání (rozdíl mezi mletím a vysypáváním je v namontovaném poklopu, mletí – celistvý poklop, vysypávání – perforovaný poklop) a nakonec lze regulovat i množství mlecích těles.

9.2.1. Parametry mlecích těles

Celkové množství mlecích těles	88 kg
• Ø 50 mm	19,5 kg
• Ø 33 mm	25 kg
• Ø 17 mm	43,5 kg



Obrázek 12 Kulový mlýn - omílací buben OM 20F (autor)

9.3. Planetový mlýn – Pulverisette 6

Planetový mlýn funguje na principu excentricky osazeného mlecího tělesa na rotačním disku. Otáčením dochází v jistém bodě k vymrštění mlecích těles z jedné strany nádoby na opačnou stranu. Tímto procesem probíhá mletí vloženého materiálu. Je nutné mít nastavené správné protizávaží, které odpovídá hmotnosti nádoby s mlecími tělesy i vsázkou. V ideálním případě přístroj předá všechnu svou energii z rotace do materiálu a rozemele jej na patřičnou velikost. Tento stav lze pozorovat na hluku, při předání maximální energie do materiálu je přístroj nejtišší, jakákoliv disbalance tohoto stavu způsobuje zvýšení



Obrázek 13 Planetový mlýn Pulverisette (autor)

hluku projevující se cinkáním mlecích těles o stěny nádoby. V extrémním případě nevyvážené protizávaží k hmotnosti mlecí nádoby s vsázkou může dojít k rozbití přístroje. [21]

9.3.1. Parametry planetového mlýnu

Princip	tření, úder a stříh
Vhodný pro materiály	tvrdé, středně tvrdé, křehké, tuhé a vlhké
Velikost mlecí nádoby.....	500 ml
Počet mlecích těles	25
Velikost mlecích těles	kulovitý tvar Ø 20 mm
Maximální velikost materiálu	10 mm
Minimální naplnění	10 ml
Maximální naplnění	225 ml
Konečná velikost částic.....	< 1 µm
Mlecí proces	suchý/vlhký
Rozsah rotační rychlosti	100-650 rpm ¹
Odstředivá síla.....	29 g
Požadavky na elektrickou energii	200-240 V, 50-60 Hz
Výkon	1000 Watt
Hladina akustického výkonu při pracovním nasazení přístroje dle DIN EN ISO 3746 (záleží na materiálu, mlecích tělesech a rychlostí otáček)	
.....	cca. $L_{pAd}^2 = 93$ dB
Rozměry (Š × H × V).....	370 × 530 × 500 mm
Hmotnost	63 kg [21]

¹ rpm – revolution per minute, $ot \cdot min^{-1}$

² L_{pAd} – sound pressure level, hladina akustického výkonu

9.4. Laserová granulometrie – Mastersize 2000

Celý princip měření velikosti částic a stanovení jejího množství s pomocí laseru je založen na dvou základních fyzikálních teoriích, které se zabývají předpovídáním chování paprsku světla, jímž prochází zkoumané částice.



První je Fraunhoferův model. Tento model je schopný stanovit šablony chování světelného paprsku, kterým prochází

Obrázek 14 Laserová granulometrie - Mastersize 2000 [26]

částice neprůhledné, pevné fáze a kruhového tvaru o známé velikosti. Daný princip je vhodný pouze pro malé množství částic. V případě nekruhového obrysu nebo transparentnosti částic není tato metoda přesná.

Teorie Gustava Mie umožňuje přesnější stanovení na základě předpovědi rozptylu paprsku, průchodu skrz průhlednou částici nebo pohlcení světla částicí. Přesto vyžaduje při měření zadat specifické informace o daném materiálu, především jeho absorpci a index lomu. [22]

9.4.1. Parametry Mastersizu 2000

Červené světlo:

Typ:..... HeNe plyn laseru

Maximální výstupní energie: 4 mW

Průměr paprsku:..... 0,62 mm

Odchylka paprsku: 1,5 mrad

Vlnová délka paprsku: 633 nm

Modré světlo:

Vlnová délka:..... 466 nm

Typ:..... LED [22]

10. Metodika práce

10.1. ETAPA I

- Návrh postupu přípravy autoskla
- Provedení drcení a mletí autoskla
- Porovnání kvality výsledného mletého skla s požadovanou kvalitou

10.2. ETAPA II

- Návrh zkoušení a zkoumání dějů při mletí autoskla
- Ověření možnosti mletí velkého množství vzorků při menších dávkách vsázky
(100- 200 g)
- Stanovení vlivů mlecího procesu na výsledek mletí skla

10.3. ETAPA III

- Úprava postupu mletí autoskla
- Praktické ověření tezí z ETAPY II
- Zhodnocení výsledků mletí a návrh dalšího postupu

10.4. ETAPA IV

- Úprava postupu mletí autoskla
- Ověření předpokladů na reálném mletí skla v kulovém mlýně
- Porovnání výsledku mletí s požadovaným cílem – ověření dosažení požadovaných parametrů skla

10.5. ETAPA V

- Úprava postupu mletí autoskla
- Změna poměru a množství mlecích těles
- Porovnání výsledku mletí s požadovaným cílem – ověření dosažení požadovaných parametrů skla

10.6. ETAPA VI

- Úprava postupu mletí autoskla
- Změna poměru a množství mlecích těles
- Hledání vhodné rychlosti otáček
- Porovnání výsledku mletí s požadovaným cílem – ověření dosažení požadovaných parametrů skla

10.7. ETAPA VII

- Úprava postupu mletí autoskla dle předchozích zkušeností
- Výběr několika křivek zrnitosti skla vhodných pro výrobu polymerbetonových vzorků
- Mletí materiálu pro výrobu polymerbetonových zkušebních vzorků

10.8. ETAPA VIII

- Návrh receptury polymerbetonové směsi
- Výroba zkušebních vzorků
- Stanovení vlastností pevnosti v tlaku a tahu za ohybu po 24 h

10.9. ETAPA IX

- Korekce receptury polymerbetonové směsi
- Zhotovení zkušebních vzorků
- Hledání plniva s vhodnou křivkou zrnitosti
- Ověření mechanických vlastností po 24 h

10.10. ETAPA X

- Korekce receptur polymerbetonové směsi
- Zhotovení zkušebních vzorků dle 3 receptur
- Ověření mechanických vlastností po 24 h, 3 a 7 dnech

10.11. ETAPA XI

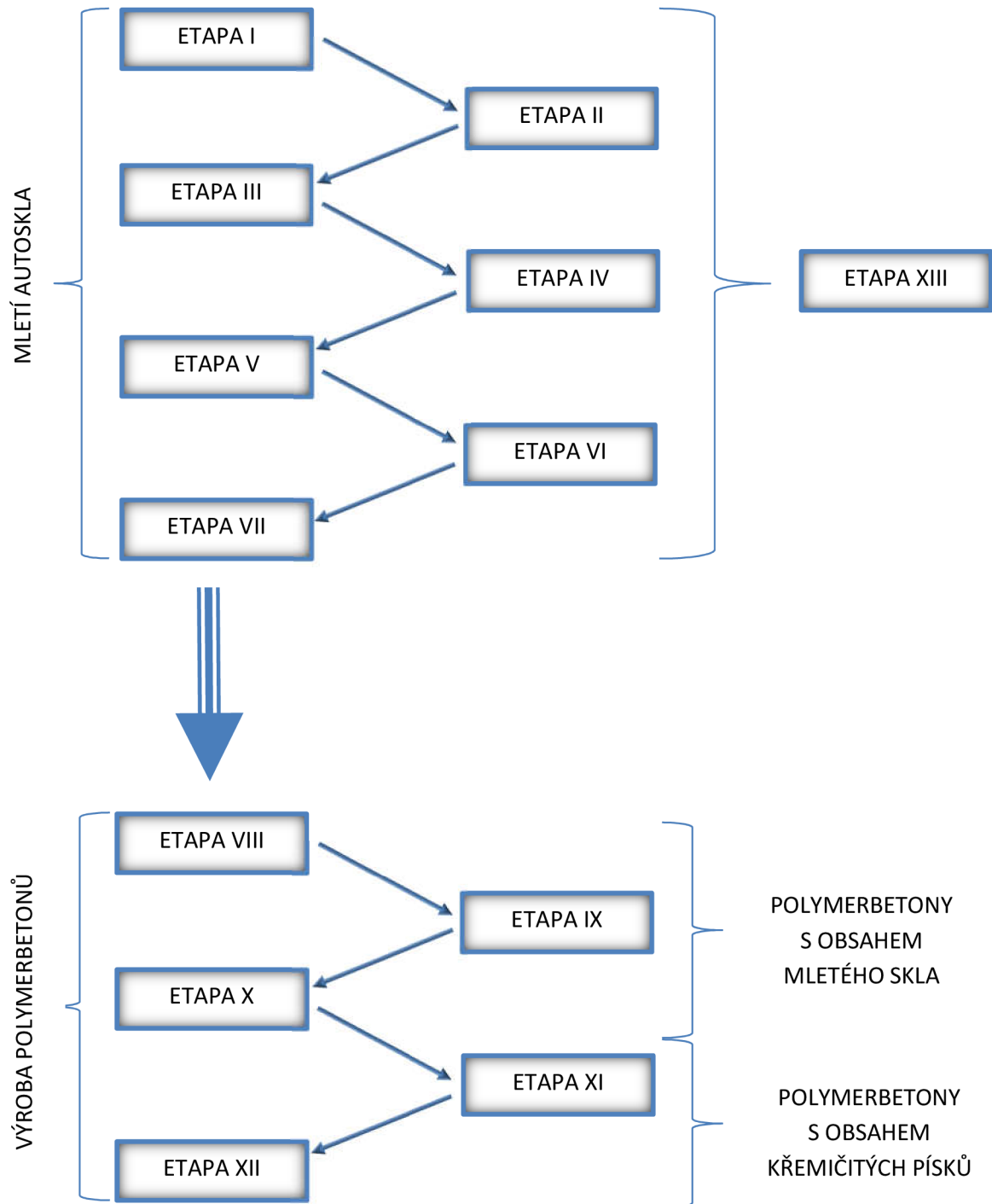
- Zhotovení referenčních vzorků Ref 1 (z křemičitých písků) dle 3 receptur
- Ověření mechanických vlastností po 24 h, 3 a 7 dnech
- Porovnání polymerbetonů z mletého skla a z křemičitých písků
- Stanovení mezerovitosti a měrné hmotnosti

10.12. ETAPA XII

- Zhotovení referenčních vzorků (Ref 2) dle 3 receptur velikosti 40 × 40 × 160 mm
- Ověření mechanických vlastností po 24 h, 3 a 7 dnech
- Porovnání polymerbetonů z křemičitých písků z ETAPY XI (Ref 1) a ETAPY XII (Ref 2)
- Stanovení mezerovitosti a měrné hmotnosti

10.13.ETAPA XIII

Na základě zkušeností z mletí autoskla provedení návrhu úpravnické linky



Obrázek 15 Schéma postupu a navazování etap

III. Praktická část

11. Cíl

Praktická část si dává za cíl navrhnout postup úpravy kusového autoskla do požadované výsledné kvality a množství pro následné použití jako plniva do polymerbetonu. Následně ověřit a porovnat vlastnosti polymerbetonu s autoklem a referenčními tradičně používanými křemičitými písky.

12. ETAPA I

12.1. Cíl

Mechanicky s pomocí čelistového drtiče a kulového mlýnu připravit z kusového autoskla plnivo vhodné do polymerbetonů.

12.2. Teoretický postup

Dle obecného postupu mechanické recyklace autoskla popsaného a prováděného firmou CFB Autosklo byl navržen následující postup: [23]

1. Primární drcení shromážděného množství autoskel (redukce velikosti)
2. Sekundární drcení nebo mletí pro následné účely využití (mechanická separace skla od ostatních látek)

12.3. Použité pomůcky

- Ochranné pomůcky – brýle, pogumované rukavice, respirátor, plášť, dlouhé kalhoty
- Pracovní pomůcky – nůž, lopatka, normová sada sít, malířský štětec, misky, váhy s přesností na 0,01 g
- Přístroje – Čelistový drtič Retsch BB 200, Kulový mlýn – Omílací buben OM 20F

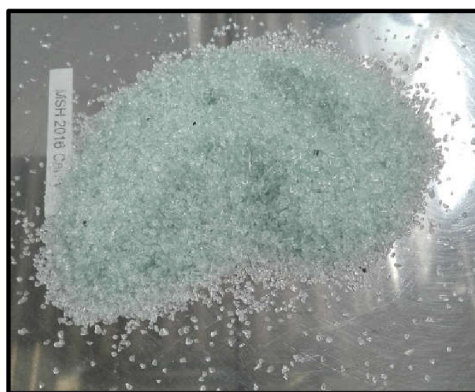
12.4. Postup

1. Nařezání kusového autoskla na drobné kusy či pásy
2. Drcení autoskla na čelistovém drtiči
 - a. Šířka štěrbin 2-6 mm
3. Síťový rozbor
 - a. Prováděno na vibračním stole
 - b. Následně od síta 0,5 mm prosíváno s pomocí malířského štětce
4. Vložení podrceného skla do kulového mlýna
 - a. 29 a 49 ot·min⁻¹
 - b. Čas mletí 20 min + 20 min vysypávání
 - c. Vsázka 5 kg
5. Síťový rozbor
 - a. Prováděno na vibračním stole
 - b. Následně od síta 0,5 mm prosíváno s pomocí malířského štětce

12.5. Výsledek



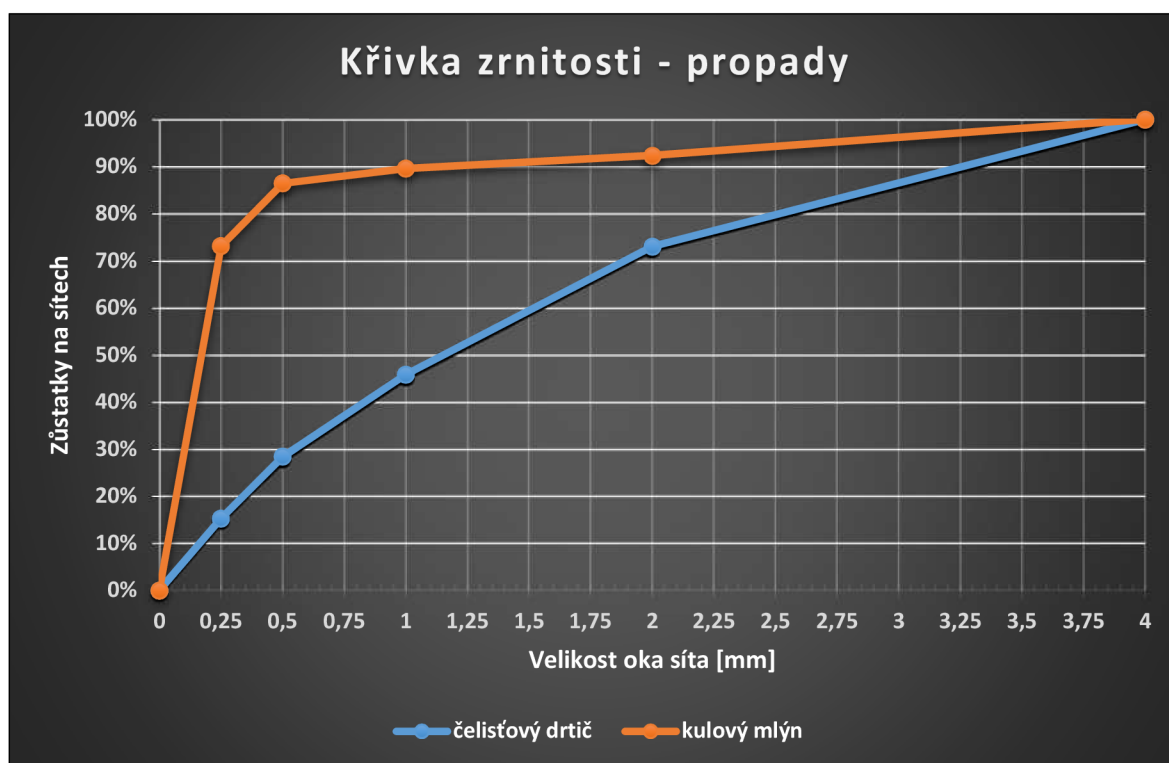
Obrázek 16 Štěp skla před drcením (vlevo) a po drcení v čelistovém drtiči (vpravo) (autor)



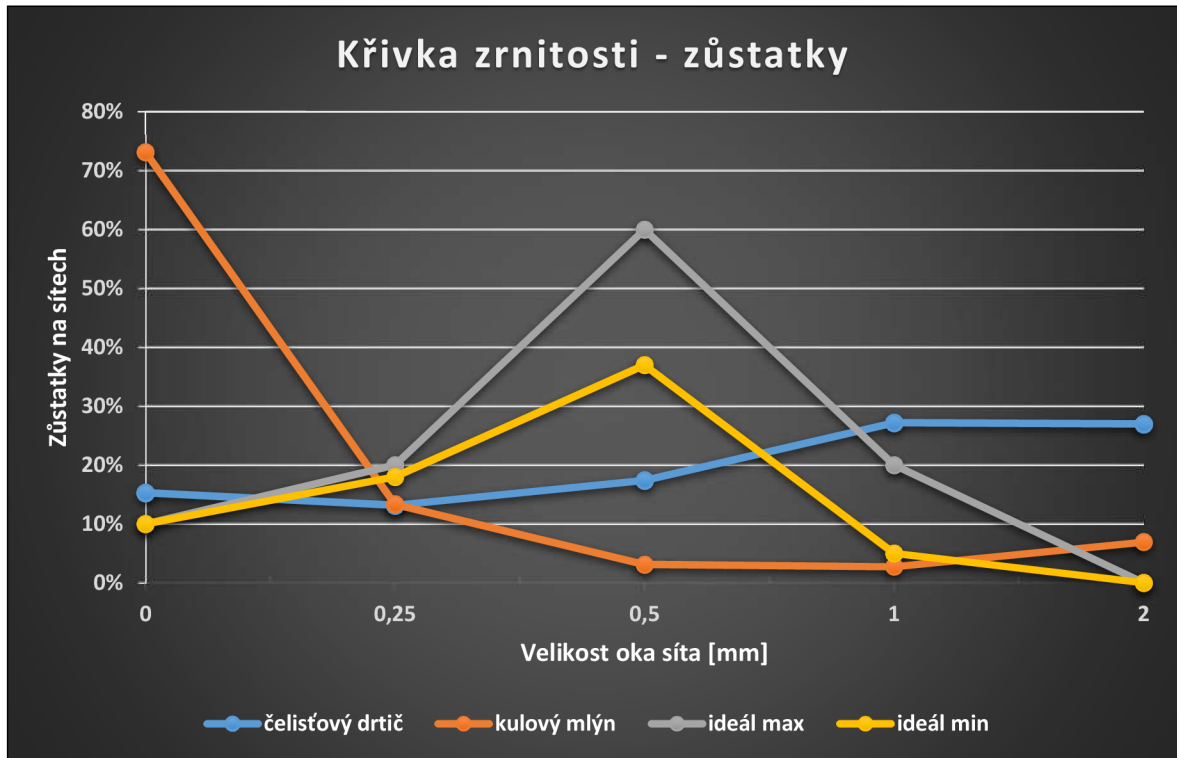
Obrázek 17 Drcené sklo na čelistovém drtiči
(autor)

Tabulka 3 Mletí na čelistovém drtiči a kulovém mlýně

Frakce [mm]	Čelistový drtič			Kulový mlýn		
	Hmotnost [g]	Zastoupení [%]	Propad [%]	Hmotnost [g]	Zastoupení [%]	Propad [%]
4	0	0%	100%	0	0%	100%
2	127	27%	73%	38	7%	92%
1	128	27%	46%	15	3%	90%
0,5	82	17%	28%	17	3%	86%
0,25	62	13%	15%	73	13%	73%
0	72	15%	0%	400	73%	0%



Graf 2 Křivka zrnitosti - propady ETAPA I



Graf 3 Křivka zrnitosti - zůstatky ETAPA I

12.6. Diskuse nad výsledky ETAPY I

Čelistový drtič je vhodný na primární předúpravu skla. Při nastavení šterbiny na cca 0,45 mm dobře předdrť sklo, bohužel školní čelistový drtič má příliš úzký vstupní otvor a pod čelistmi tyč. Tyto dvě skutečnosti zamezují volnému průchodu střepu s fólií a nutí k neustálému zastavování stroje a manuálního odblokování. Čelistový drtič Retsch je shledán nevhodným k drcení autoskla nebo odseparováním fólie od skla.

Kulový mlýn velmi dobře odseparovává sklo od fólie. Velká část namletého vzorku je bohužel pod 0,3 mm a tudíž nepoužitelná. Díky možnosti ovlivňovat rychlost otáček, dobu vysypávání i poměr nebo množství mlecích těles, bude možné při správném nastavení přístroje vytvořit požadovaný výsledek. Ke zjištění požadovaných parametrů nastavení mlecího přístroje je nutné provést velké množství mletí při různých energiích a časech mletí. 5 kg vsázka je pro prvotní stanovení způsobu mletí až příliš velká.

Jako další krok byl proveden návrh využití mlecího přístroje s obsahem mlecích těles kulového tvaru, malou vsázkou, jednoduchou obsluhou a možností nastavení rychlosti otáček,

dobu mletí a celkovou energii vnášenou do mletého autoskla. Tyto podmínky splňuje přístroj Planetový mlýn – Pulverisette 6.

13. ETAPA II

13.1. Cíl

Na malých vzorcích kusového autoskla stanovit vliv velikosti vnášené energie do materiálu, času a počtu mlecích těles na rychlost a kvalitu mletí. Cílem je dosažení maximálního množství frakce 0,25-2 mm.

13.2. Postup

1. Navážení cca 150-200 g kusového skla
2. Mletí při daném času a rychlosti otáček v planetovém mlýně
3. Sítový rozbor

13.3. Použité pomůcky

- Ochranné pomůcky – brýle, pogumované rukavice, respirátor, plášť, dlouhé kalhoty
- Pracovní pomůcky – nůž, lopatka, normová sada sít, malířský štětec, misky, váhy s přesností na 0,01 g
- Přístroje – Planetový mlýn Pulverisette 6

13.4. Výsledek

Tabulka 4 Mletí na planetovém mlýně ETAPA II

Označení	Rychlost otáček [ot·min ⁻¹]	Doba mletí [min]	Hmotnost vsázky [g]	Hmotnost namletého vzorku [g]	Zůstatky na sítích (velikost ok sít v mm)			Celková produkce
					2	0,25	0	
1	200	1	200	13,58	48%	25%	27%	7%
2	200	2	150	15,07	29%	28%	44%	10%
3	200	4	135	21,82	9%	20%	70%	16%
4	150	1	146	1,36	40%	34%	26%	1%
5	150	2	144	2,88	23%	36%	40%	2%
6	150	4	142	5,5	31%	22%	46%	4%
7	250	1	137	10,85	16%	29%	54%	8%
8	250	2	127	39,48	14%	32%	53%	31%
9	250	4	150	41,76	10%	25%	65%	28%
10	200	4 × 1	150	32,52	22%	43%	34%	22%

Pozn. Výpočet celkové produkce 13.4.1.

13.4.1. Výpočet celkové produkce

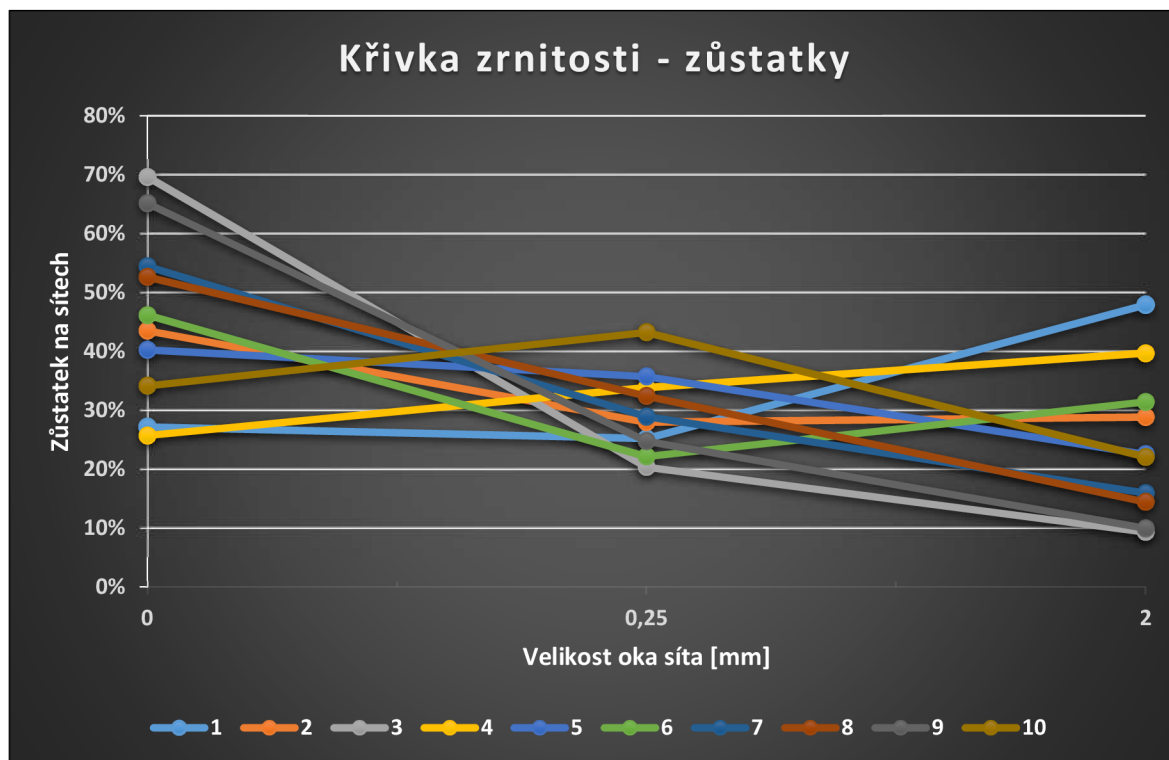
Pro zhodnocení účinnosti mletí při různých parametrech mlecího procesu a při různé velikosti vsázky byly pro porovnání definovány hodnoty množství získaného materiálu vzhledem k velikosti vsázky jako koeficient celkové produkce. Čím vyšší je koeficient celkové produkce, tím je vyšší produkce mletého autoskla.

$$P_c = \frac{m_m}{m_1} \cdot 100\%$$

P_ccelková produkce [%]

m_1hmotnost vsázky [g]

m_mhmotnost pomletého skla [g]



Graf 4 Křivka zrnitosti - zůstatky ETAPA II. parametry mletí pro křivky 1-10 viz tabulka 4

13.5. Diskuse nad výsledky ETAPY II

Planetový mlýn Pulverisette 6 splnil požadavek na možnost mletí malé vsázky cca 150 g, jednoduché a rychlé obsluhy, díky které bylo možné provést velké množství mletí. Při časech mletí 1, 2 a 4 minuty, rychlosti otáček 150, 200 a 250 ot·min⁻¹ a vsázce cca 150 g byla provedena měření.

Nejpříznivějšího výsledku bylo dosaženo u vzorku č. 8. Při produktivitě 31 % bylo vytvořeno mleté autosklo, kde frakce 0,25-2 mm je zastoupena v množství 32 % z celkového pomletého množství. Rychlost otáček byla nastavena na 250 ot·min⁻¹ po dobu mletí 2 minut.

Druhý značně příznivý výsledek přinesl vzorek č. 10. Zde byla produktivita 22 % při obsahu frakce 0,25-2 mm v množství 43 %. Výsledku bylo dosaženo při 200 ot·min⁻¹ a době mletí 1 minuty, tento proces mletí byl opakován 4 krát pro zamezení domílání požadované frakce.

Lze tak pozorovat nárůst produktivity mletí s rychlostí otáček a především nárůst zrnitosti 0,25-2 mm v případě opakovaného mletí při kratších časech.

V další etapě bude cílem stanovení závislosti granulometrie autoskla na době mletí kratší než 1 minuta.

14. ETAPA III

14.1. Cíl

Stanovení závislosti mletí autoskla při krátkých mlecích intervalech ne delších než 1 minuta. Dále zjištění vlivu počtu mlecích těles na proces zdrobňování střepů autoskla.

14.2. Postup

1. Navážení cca 150-200 g kusového skla
2. Mletí při daném času, počtu mlecích těles a rychlosti otáček v planetovém mlýně
3. Síťový rozbor

14.3. Použité pomůcky

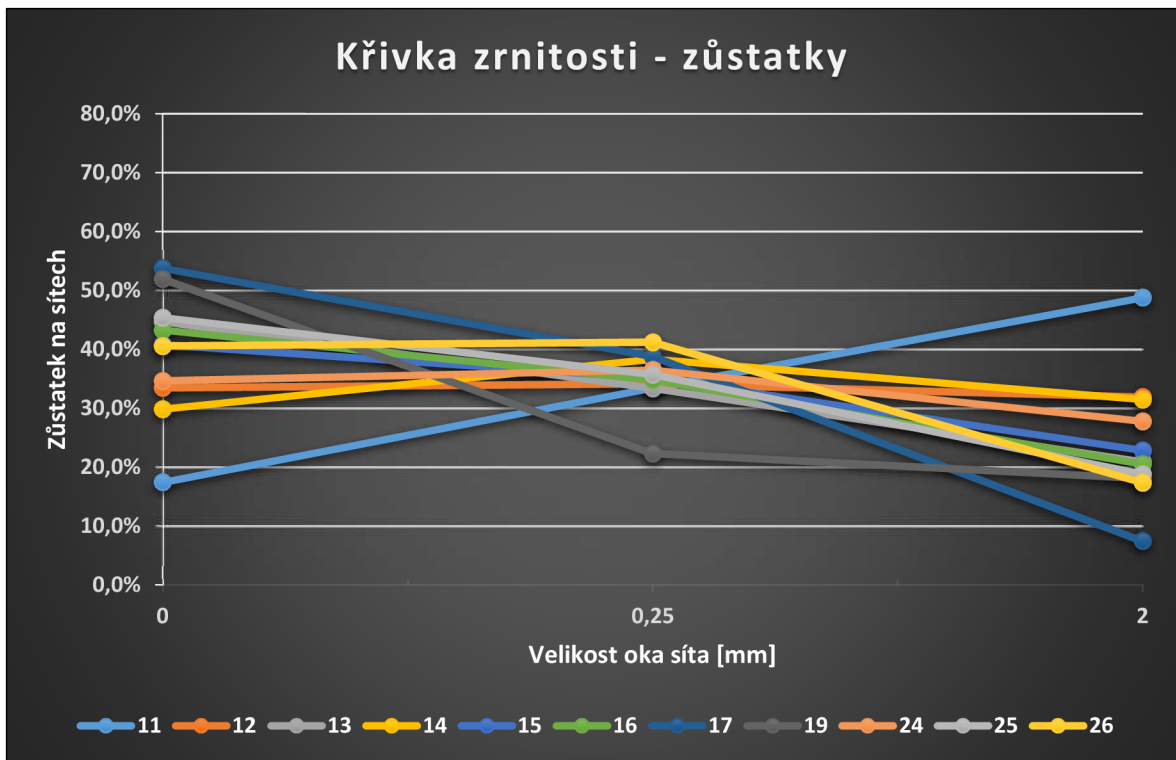
- Ochranné pomůcky – brýle, pogumované rukavice, respirátor, plášť, dlouhé kalhoty
- Pracovní pomůcky – normová sada sít, malířský štětec, misky, váhy s přesností na 0,01 g
- Přístroje – planetový mlýn Pulverisette 6

14.4. Výsledek

Tabulka 5 Mletí na planetovém mlýně ETAPA II

Označení	Počet mlecích těles [ks]	Rychlost otáček [ot·min ⁻¹]	Počet opakování	Doba mletí [s]	Hmotnost vsázky [g]	Hmotnost namletého vzorku [g]	Celková produkce	Zůstatky na sítích (velikost ok sít v mm)		
								2	0,25	0
11	25	200	4	15	150	8,42	6%	49%	33%	17%
12		200	4	30	141	14,07	10%	32%	34%	33%
13		200	4	45	150	15,03	10%	21%	33%	45%
14		250	4	15	135	8,00	6%	32%	38%	30%
21		150	4	15	145	<1	0,0%	-	-	-
22		150	4	30	145	0,75	0,5%	-	-	-
23		150	4	45	145	0,65	0,4%	-	-	-
24		250	4	15	145	6,87	5%	28%	37%	35%
25		250	4	30	150	17,68	12%	19%	36%	45%
26		250	4	45	138	35,68	26%	17%	41%	41%
15	10	200	1	60	150	6,69	4%	23%	35%	41%
16		200	1	120	143	11,11	8%	21%	35%	43%
17		200	1	240	150	18,9	13%	7%	39%	54%
18		150	1	60	150	0,71	0%	-	-	-
19		150	2	120	149	3,81	3%	18%	22%	52%
20		150	1	240	145	1,43	1%	-	-	-

Pozn. Výpočet celkové produkce 13.4.1.



Graf 5 Křivka zrnitosti - zůstatky ETAPA III. parametry mletí pro křivky 11-26 viz tabulka 5

14.5. Diskuse nad výsledky ETAPY III

V ETAPĚ III bylo cílem mletí cca 150 g skla na planetovém mlýně Pulverisette 6 po dobu kratší než 1 minuta. Krátké intervaly měly potvrdit či vyvrátit předpoklad, že pravidelný odběr již namletého skla na příslušnou granulometrii zamezí jeho dalšímu rozmělnění na frakce pod 0,25 mm.

Vzorek číslo 14 je nejlepší zástupce skla mletého 25 mlecími tělesy. Při nastavení planetového mlýnu na 250 ot·min⁻¹, při čase 15 sekund se 4 opakováními a vsázkou 135 g bylo dosaženo množství frakce 0,25-2 mm 38 % z celkové hmotnosti mletého skla při produktivitě 5,9 %. Ačkoliv produktivita není příliš vysoká, při dostatečném opakování 15 sekundového cyklu by se tento deficit hravě vyrovnal. 24. vzorek mletého skla měl shodné nastavení jako 14. vzorek a dosahuje srovnatelných hodnot kvality mletého skla. Frakce mletého vzorku 0,25-2 mm zastává 36 % při produktivitě 4,7 %. Tedy předpoklad kontinuálního nebo co nejčastějšího odběru mletého skla byl správný. Vzorky 14 a 24 potvrzují odhad.

Dále je možné na vzorku 17 pozorovat také značný vliv množství mlecích těles. V tomto případě bylo použito místo 25 ks mlecích těles pouze 10 ks. Vzorek 17 pak při 200 ot·min⁻¹,

při čase 4 minut a vsázce 150 g dosáhl množství frakce 0,25-2 mm 38 % při produktivitě 12,6 %.

Další mletí mohou opět pokračovat na kulovém mlýně. Pro zajištění kontinuálního odvodu skla o požadované zrnitosti bude po celý čas na otvoru kulového mlýnu umístěn vysypávací poklop se šterbinami. Na základě zkušeností z planetového mlýna bude žádoucí ověřit i potenciál změny množství a poměru jednotlivých velikostí mlecích těles.

15. ETAPA IV

15.1. Cíl

Na kulovém mlýně stanovit vliv změny velikosti a množství mlecích těles na mletí autoskla. Mletí bude prováděno při 3 různých frekvencích otáček. Po celý čas mletí bude na omílacím bubnu nasazen vysypávací poklop, pro zajištění kontinuálního vysypávání pomletého skla a zamezení jeho dalšího nežádoucího domílání. Porovnání s oblastí zrnitosti používanou firmou Atemit.

15.2. Postup

1. Roztřídění jednotlivých mlecích těles dle velikosti
2. Vložení kusového skla do kulového mlýna
 - a. 29, 49 a 58 ot·min⁻¹
 - b. Čas mletí a vysypávání 10 min
 - c. Vsázka 3 kg
3. Sítový rozbor na sítích normové řady 0,25-4 mm

15.3. Použité pomůcky

- Ochranné pomůcky – brýle, pogumované rukavice, respirátor, plášť, dlouhé kalhoty
- Pracovní pomůcky – nůž, lopatka, normová sada sít, malířský štětec, misky, váhy s přesností na 0,01 g
- Přístroje – Kulový mlýn – Omílací buben OM 20F

15.4. Výsledek

Tabulka 6 Mletí na kulovém mlýně ETAPA IV

Označení	Velikost mlecích těles [mm]	Množství mlecích těles [kg]	Rychlost otáček [ot·min ⁻¹]	Doba mletí [min]	Hmotnost vsázky [g]	Hmotnost namletého vzorku frakce 0,25-2 mm [g]	Celková produkce	Produktivita	Výtěžnost
1	17	43,5	29	10	3000	102,56	5,6%	0,6%	11,1%
2			49			147,96	11,2%	3,4%	30,7%
3			58			39,76	8,4%	1,1%	13,5%
4	33	25	29			34,14	3,0%	0,6%	18,6%
5			49			18,56	15,3%	4,9%	32,2%
6			58			34,94	6,4%	1,2%	18,2%
7	50	19,5	29			16,62	1,3%	0,4%	27,8%
8			49			257,46	6,1%	1,3%	21,6%
9			58			10,61	18,9%	8,6%	45,4%
10	33 + 50	44,5	29			243,70	16,5%	8,1%	49,3%
11			49			249,58	20,2%	8,3%	41,1%
12			58			164,03	14,4%	5,5%	38,0%

Pozn. Celková prod., produktivita a výtěžnost viz 15.4.1-3

15.4.1. Výpočet celkové produkce

Pro zhodnocení účinnosti mletí při různých parametrech mlecího procesu a při různé velikosti vsázky byly pro porovnání definovány hodnoty množství získaného materiálu vzhledem k velikosti vsázky jako koeficient celkové produkce. Čím vyšší je koeficient celkové produkce, tím se získá větší množství mletého autoskla.

$$P_c = \frac{m_m}{m_1} \cdot 100\%$$

P_c celková produkce [%]

m_1 hmotnost vsázky [g]

m_m hmotnost pomletého skla [g]

15.4.2. Výpočet produktivity

Pro zhodnocení účinnosti mletí při různých parametrech mlecího procesu a při různé velikosti vsázky byly pro porovnání definovány hodnoty množství získaného materiálu požadované úzké frakce 0,25-2 mm vzhledem k velikosti vsázky jako koeficient produktivity. Čím vyšší je koeficient produktivity, tím se získá větší množství požadované frakce 0,25-2 mm mletého autoskla.

$$P_f = \frac{m_f}{m_1} \cdot 100\%$$

P_f produktivita (frakce 0,25-2 mm) [%]

m_1 hmotnost vsázky [g]

m_f hmotnost pomletého skla frakce 0,25-2 mm [g]

15.4.3. Výpočet výtěžnosti

Pro zhodnocení efektivitu mletí autoskla při různých parametrech mlecího procesu a při různé velikosti vsázky byl zaveden koeficient výtěžnosti. Koeficient výtěžnosti se vypočítá jako poměr produktivity frakce 0,25-2 mm (tj. procentuální zisk požadované frakce 0,25-2 mm z celkové vsázky během procesu mletí) k množství celkové produkce (tj. procentuální zisk mletého skla během procesu mletí).

Maximální hodnota výtěžnosti je rovna 1.

$$V = \frac{P_f}{P_c} \cdot 100\%$$

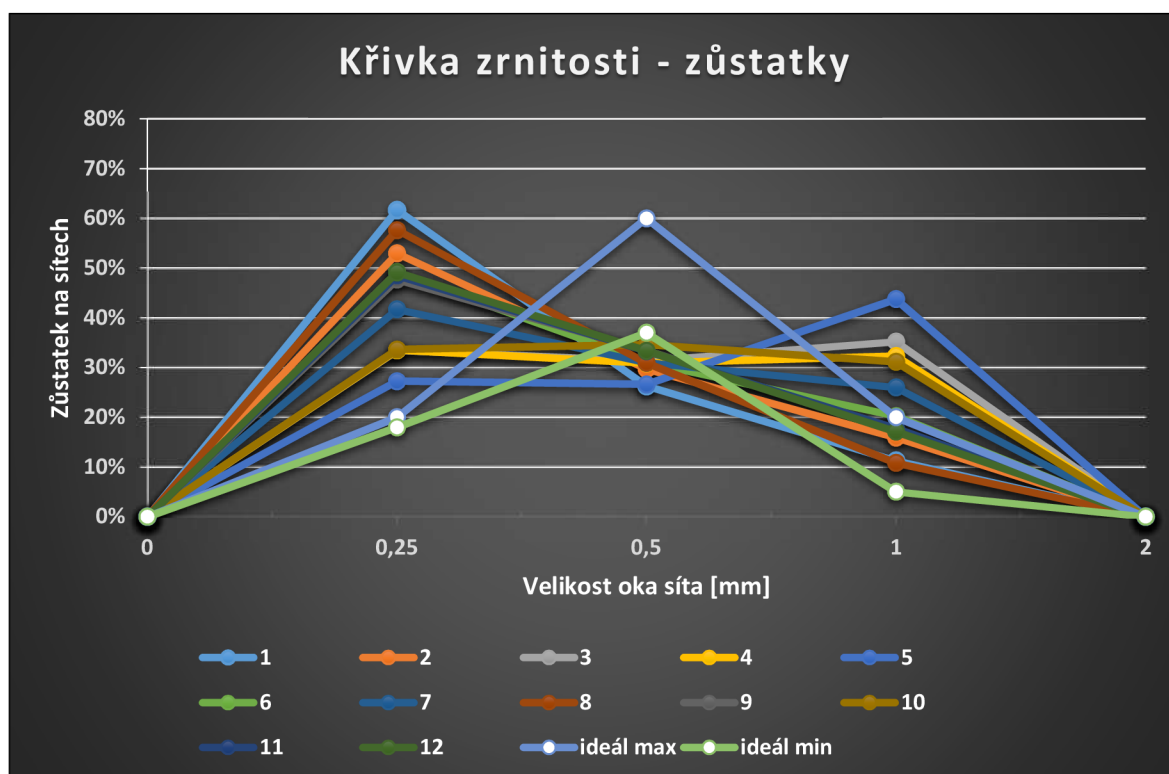
P_fproduktivita frakce 0,25-2 mm [%]

P_ccelková produkce [%]

V výtěžnost mletého skla [g]

Tabulka 7 Křivka zrnitosti - kulový mlýn ETAPA IV

Označení	Velikost mlecích těles [mm]	Zůstatky na sítích (velikost ok sít v mm)				
		2	1	0,5	0,25	0
1	17	0%	11%	26%	62%	0%
2		0%	16%	30%	53%	0%
3		0%	35%	31%	33%	0%
4	33	0%	32%	31%	34%	0%
5		0%	44%	27%	27%	0%
6		0%	20%	31%	49%	0%
7	50	0%	26%	31%	42%	0%
8		0%	11%	31%	58%	0%
9		0%	17%	33%	48%	0%
10	33 + 50	0%	31%	35%	34%	0%
11		0%	18%	33%	49%	0%
12		0%	17%	33%	49%	0%



Graf 6 Křivka zrnitosti - zůstatky ETAPA IV, Parametry mletí pro křivky 1-12 viz tabulka 6

*Pozn. Frakce > 2 a $< 0,25$ mm jsou zanedbány
33 + 50 - mlecí tělesa \varnothing 33 mm a \varnothing 50 mm*

15.5. Diskuse nad výsledky ETAPY IV

Mletí 3 kg skla proběhlo při frekvenci mletí 29, 49 a 58 $\text{ot} \cdot \text{min}^{-1}$. Dále se měnil počet mlecích těles. Byla samostatně vložena mlecí tělesa frakce o průměru 17 mm v množství 43,5 kg, o průměru 33 mm v množství 25 kg a mlecí tělesa o průměru 50 mm v množství 19,5 kg. Dále byla použita kombinace mlecích těles o průměru 33 mm a 50 mm. Tyto dva druhy mlecích těles dosahují vyšších hodnot celkové produkce, tedy dokáží z fólie vytěžit větší množství skla. Především u 49 $\text{ot} \cdot \text{min}^{-1}$ bylo s mlecími tělesy 33 mm dosaženo celkové produkce 15,3 %, kdežto u těles 17 mm byla celková produkce 11,2 %. Mlecí tělesa 50 mm dosáhla celkové produkce při 58 $\text{ot} \cdot \text{min}^{-1}$ 18,9 %, produktivity 8,6 % a zajistila tak nejvyšší výtěžnost mletí celých 45,4 %. Oproti nim u těles s průměrem 17 mm při 58 $\text{ot} \cdot \text{min}^{-1}$ byla celková produkce 8,4 %, produktivita pouhých 1,1 % a výtěžnost 13,5 %,

Z grafu je možné pozorovat, že mlecí tělesa o průměru 17 mm produkují větší množství jemných podílů během mletí. Kombinace mlecích těles 33 a 50 mm výrazně zlepšila průběh mletí a snížila rychlost rozměňování zrn skla pod 0,25 mm, čímž se výrazně navýšila

výtěžnost. U $29 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$ byl nárůst výtěžnosti až na 49,3 %. Současně se více narovnal křivka zrnitosti a jemný podíl pod 0,5 nemá tak výraznou většinu. Tento stav je možné pozorovat u vzorku č. 10, frakce 0,25-0,5 mm zabírá 34 % hmotnosti z celku, frakce 0,5-1 mm 35 % a frakce 1-2 mm 31 %. Bylo dosaženo výrazného nárůstu frakce 1-2 mm, která se pravděpodobně při delším mletí bude dále rozemílat na frakci 0,5-1 mm a méně. Bude nutné ověřit, jak se chová křivka zrnitosti při delším mletí.

Je možné prohlásit, že konstantní vysypávání v průběhu mletí přes permanentně namontovaný vysypávací poklop výrazně zvyšuje účinnost mletí. Průběžné odsypávání pomletého skla zamezuje jeho nežádoucímu domílání.

Firma Atemit používá pro realizace polymerbetonových podlah písky se zrnitostí, které se vyskytují v oblasti mezi křivkami ideál max a ideál min. Křivka zrnitosti by měla zhruba začínat na 0,25 mm a končit 2 mm. Podsítný zbytek menší než 0,25 mm by měl být do 10 %. Z těchto důvodů je reálná křivka zrnitosti pomletého skla upravena na frakci 0,25-2 mm pro lepší porovnání s Atemit standardem. Ideální křivka by se měla nacházet v rozmezí 5-20 % zbytku frakce 1-2 mm, 37-60 % 0,5-1 mm a 18-20 % 0,25-0,5 mm.

Bohužel zatím ani jedna křivka zrnitosti mletého skla plně nevyhovuje těmto mezím. Především největší zbytek na sítích by měl být u frakce 0,5-1 mm. Skelný recyklát má většinou výrazné množství frakce 1-2 mm nebo 0,25-0,5 mm. Větší obsah 1-2 mm dle firmy Atemit vadí méně než větší množství jemných 0,25-0,5 mm, jelikož tato frakce nepříznivě zvedá měrný povrch a stává se méně ekonomickou variantou z pohledu dávky epoxidové pryskyřice.

16. ETAPA V

16.1. Cíl

Stanovení průběhu mletí skla za stálého vysypávání s intervaly mletí 4×10 min. Budou použita pouze mlecí tělesa o průměru 33 a 50 mm při otáčkách 21,29 a $42 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$.

16.2. Postup

1. Roztřídění jednotlivých mlecích těles dle velikosti
2. Vložení kusového skla do kulového mlýna
 - a. 21, 29 a $42 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$
 - b. Čas mletí a vysypávání 4×10 min
 - c. Vsázka 3 kg
3. Sítový rozbor na sítích normové řady 0,25-4 mm

16.3. Použité pomůcky

- Ochranné pomůcky – brýle, pogumované rukavice, respirátor, plášť, dlouhé kalhoty
- Pracovní pomůcky – nůž, lopatka, normová sada sít, malířský štětec, misky, váhy s přesností na 0,01 g
- Přístroje – Kulový mlýn – Omílací buben OM 20F

16.4. Výsledek

Tabulka 8 Mletí na kulovém mlýně ETAPA V

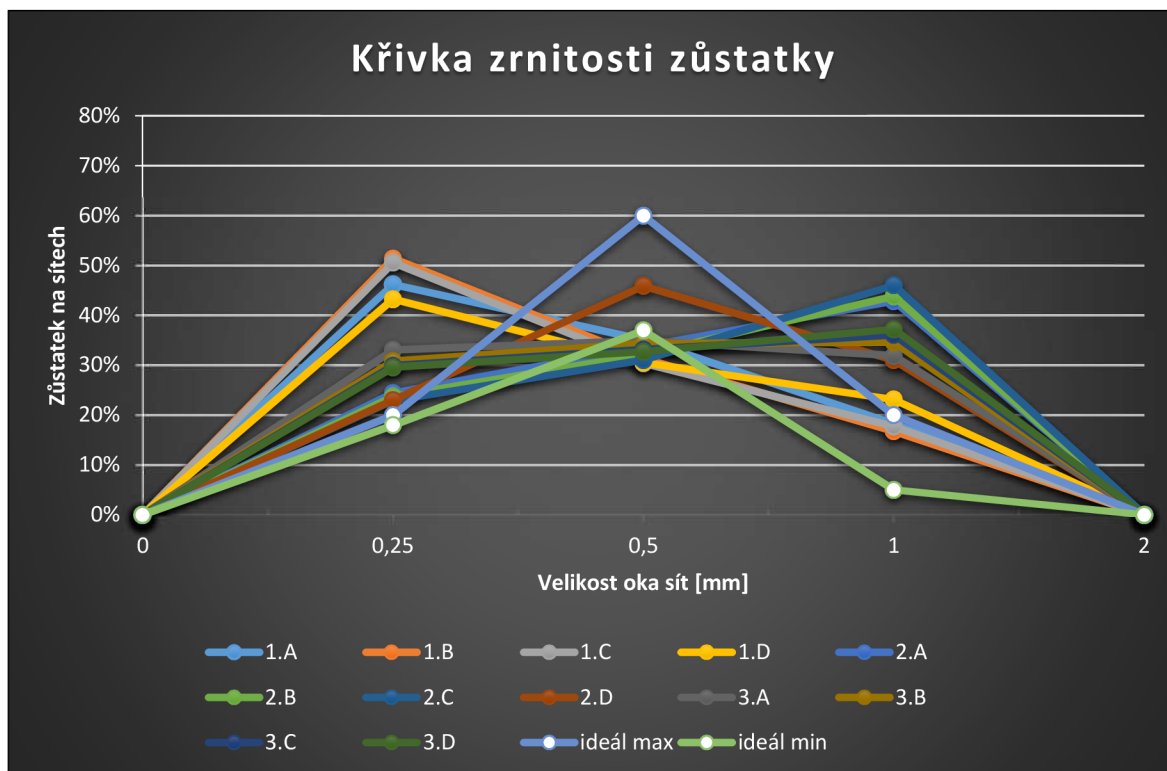
Označení	Velikost mlecích těles [mm]	Množství mlecích těles [kg]	Rychlost otáček [ot·min ⁻¹]	Čas odběru [min]	Hmotnost vsázky [g]	Hmotnost namletého vzorku frakce 0,25-2 mm [g]	Cellková produkce	Produktivita	Výtěžnost
1.A	33 + 50	44,5	42	10	3000	179,51	31,5%	6,0%	19,0%
1.B				20		159,67	35,2%	7,8%	22,1%
1.C				30		93,53	26,9%	7,0%	26,1%
1.D				40		34,09	16,6%	3,5%	21,0%
2.A			21	10		157,98	11,0%	5,3%	48,0%
2.B				20		175,82	13,8%	6,6%	47,8%
2.C				30		142,82	14,1%	6,2%	44,1%
2.D				40		116,93	14,6%	5,9%	40,6%
3.A			29	10		238,48	16,4%	7,9%	48,6%
3.B				20		233,21	20,2%	9,3%	46,1%
3.C				30		162,10	19,0%	8,1%	42,7%
3.D				40		116,25	17,0%	7,2%	42,2%

Pozn. 10 % - horních 30 %, 5 % - dolních 30 % (Cellková prod., produktivita a výtěžnost viz 15.4.1-3)

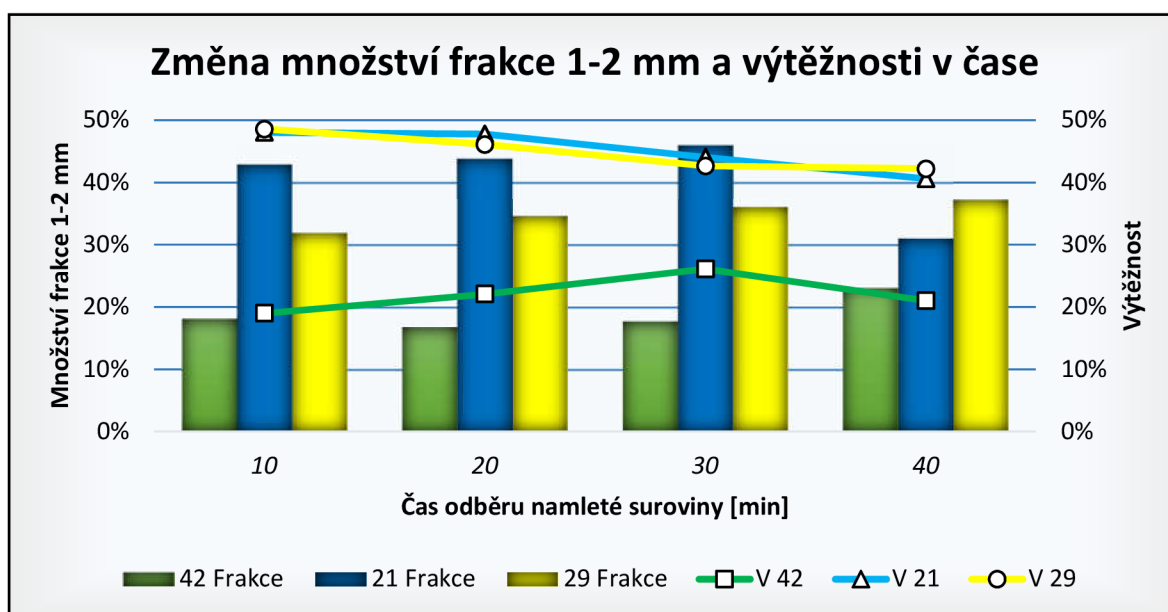
Tabulka 9 Křivka zrnitosti - kulový mlýň ETAPA V

Označení	Velikost mlecích těles [mm]	Zůstatky na sítích (velikost ok sít v mm)				
		2	1	0,5	0,25	0
1.A	33 + 50	0%	18%	35%	46%	0%
1.B		0%	17%	31%	51%	0%
1.C		0%	18%	30%	51%	0%
1.D		0%	23%	31%	43%	0%
2.A		0%	43%	34%	24%	0%
2.B		0%	44%	32%	24%	0%
2.C		0%	46%	31%	23%	0%
2.D		0%	31%	46%	23%	0%
3.A		0%	32%	35%	33%	0%
3.B		0%	35%	34%	31%	0%
3.C		0%	36%	33%	30%	0%
3.D		0%	37%	33%	30%	0%

Pozn. Frakce > 2 a < 0,25 mm jsou zanedbány



Graf 7 Křivka zrnitosti - zůstatky ETAPA V, Parametry mletí pro křivky 1.A-3.D viz tabulka 8



Graf 8 Výtěžnost v čase vzhledem k množství frakce 1-2 mm (množství frakce 0,5-1 mm jsou téměř stejné u všech vzorků, ETAPA V

Pozn. 42 frakce – sklo mleté při 42 ot·min⁻¹ dosáhlo frakce 1-2 mm v množství ...

V 42 – sklo mleté při 42 ot·min⁻¹ dosáhlo výtěžnosti ...

16.5. Diskuse nad výsledky ETAPY V

V této etapě bylo cílem stanovit změnu mletí autoskla v kulovém mlýně v čase, při pravidelných odběrech. Vsázka činila cca 3 kg materiálu, rychlost otáček byla 21, 29 a 42 ot·min⁻¹. Mlecí tělesa byla pouze o průměru 33 a 50 mm o celkové hmotnosti 44,5 kg. Mlecí cyklus trval 40 minut za odběru mletého skla, které se odebíralo každých 10 minut.

Hlavními sledovanými parametry je výtěžnost a množství frakce 1-2 mm vzhledem k frakci 0,25-0,5 mm. Nejvyšší váhu má výtěžnost.

Z výsledků hodnot v tabulce č. 6 a 7 je možné pozorovat změnu křivky zrnitosti a výtěžnosti v čase. Při 42 ot·min⁻¹ se výtěžnost pohybuje v rozmezí 19-26 %. Křivka zrnitosti se u frakce 1-2 mm pohybuje v rozmezí 17-23 %, 0,5-1 mm 30-35 % a 0,25-0,5 mm 43-51 %. Výsledek je nejméně vyhovující z důvodu nízké výtěžnosti a velké převahy jemnější frakce nad hrubší.

Mnohem lepších hodnot výtěžnosti dosahují vzorky při mletí na 21 a 29 ot·min⁻¹. Obě se pohybují v téměř stejném rozmezí 40-48 %. Liší se výrazněji křivkou zrnitosti. 21 ot·min⁻¹ má křivku 1-2 mm v rozmezí 31-46 %, 0,5-1 mm 31-46 % a 0,25-0,5 mm 23-24 %. Na druhé straně 29 ot·min⁻¹ přineslo téměř vyrovnanou křivku zrnitosti. Frakce 1-2 mm je mezi hodnotami 32-37 %, 0,5-1 mm 33-35 % a 0,25-0,5 mm 30-33 %.

Je možné pozorovat, jak v čase při vymílání vsázky postupně klesá výtěžnost z důvodu klesání množství skla k fólii. Tato bezpečnostní fólie znesnadňuje mletí. Nabaluje se na sklo a brání jeho rozemílání. Z grafu je možné pozorovat, že mletí je do prvních 30 minut velmi rovnoměrné. Poté již je přítomnost skla tak nízká, až dochází k výraznějšímu poklesu výtěžnosti až o 5 %.

Cílem je křivka s maximální hodnotou zůstatku u frakce 0,5-1 mm. Z pohledu spotřeby epoxidové pryskyřice je vhodnější vyšší hodnota zůstatku u frakce 1-2 mm než u frakce 0,25-0,5 mm.

V další etapě bude provedeno ověření vlivu úpravy množství a poměru mlecích těles na výtěžnost i křivku zrnitosti.

17. ETAPA VI

17.1. Cíl

Stanovení vlivu změny poměru a množství mlecích těles na křivku zrnitosti a výtěžnost mletí autoskla. Určit nejvhodnější rychlost otáček při určitém rozvřzení mlecích těles pro výtěžnost mletí vyšší než 45 % a křivku zrnitosti blížící se rozmezí používaném firmou Atemit.

17.2. Postup

1. Roztřídění jednotlivých mlecích těles dle velikosti
2. Vložení mlecích těles v různých poměrech
3. Vložení kusového skla do kulového mlýna
 - a. 21-42 ot·min⁻¹
 - b. Čas mletí a vysypávání 10 min
 - c. Vsázka 3 kg
4. Sítový rozbor na sítích normové řady 0,25-4 mm

17.3. Použité pomůcky

- Ochranné pomůcky – brýle, pogumované rukavice, respirátor, plášť, dlouhé kalhoty
- Pracovní pomůcky – nůž, lopatka, normová sada sít, malířský štětec, misky, váhy s přesností na 0,01 g
- Přístroje – Kulový mlýn – Omílací buben OM 20F

17.4. Výsledek

Tabulka 10 Mletí na kulovém mlýně ETAPA VI

Označení	Velikost a množství mlecích těles [mm] (množství)	Množství mlecích těles [kg]	Rychlost otáček [ot·min ⁻¹]	Čas odběru [min]	Hmotnost vsázky [g]	Hmotnost namletého vzorku frakce 0,25-2 mm [g]	Celková produkce	Produktivita	Výtěžnost
1	33 + 50 (½ 33)	32	21	10	3000	33,90	2,3%	1,1%	48,3%
2			32		2929,77	56,64	5,7%	1,9%	34,1%
3			42		2763,77	110,85	12,1%	4,0%	33,2%
4	33 + 50 (½ 50)	35	21		3000	171,39	12,6%	5,7%	45,4%
5			32		2622,13	281,35	21,7%	10,7%	49,5%
6			42		2054,03	231,36	28,8%	11,3%	39,1%
7			26		3000	300,49	20,3%	10,0%	49,3%
8			32		2391	349,25	28,6%	14,6%	51,1%
9			36		3000	309,36	22,9%	10,3%	45,1%
10	33 + 50 (14 ks 50)	32	26		3000	323,15	22,2%	10,8%	48,4%
11			32		2333	187,36	17,4%	8,0%	46,1%
12			36		1927	118,57	17,2%	6,2%	35,8%
13	33 + 50 (30 ks 50)	40	32		3000	483,84	29,7%	16,1%	54,2%
14			26		2108	286,07	27,1%	13,6%	50,1%
15			36		3000	394,06	27,2%	13,1%	48,3%
16			29		2184	265,20	27,0%	12,1%	45,0%

Pozn. **10 %** - horních 30 %, **5 %** - dolních 30 %

(Celková prod., produktivita a výtěžnost viz 15.4.1-3)

33 + 50 (½ 33) - mlecí tělesa Ø 33 mm v polovičním množství a Ø 50 mm v plném množství

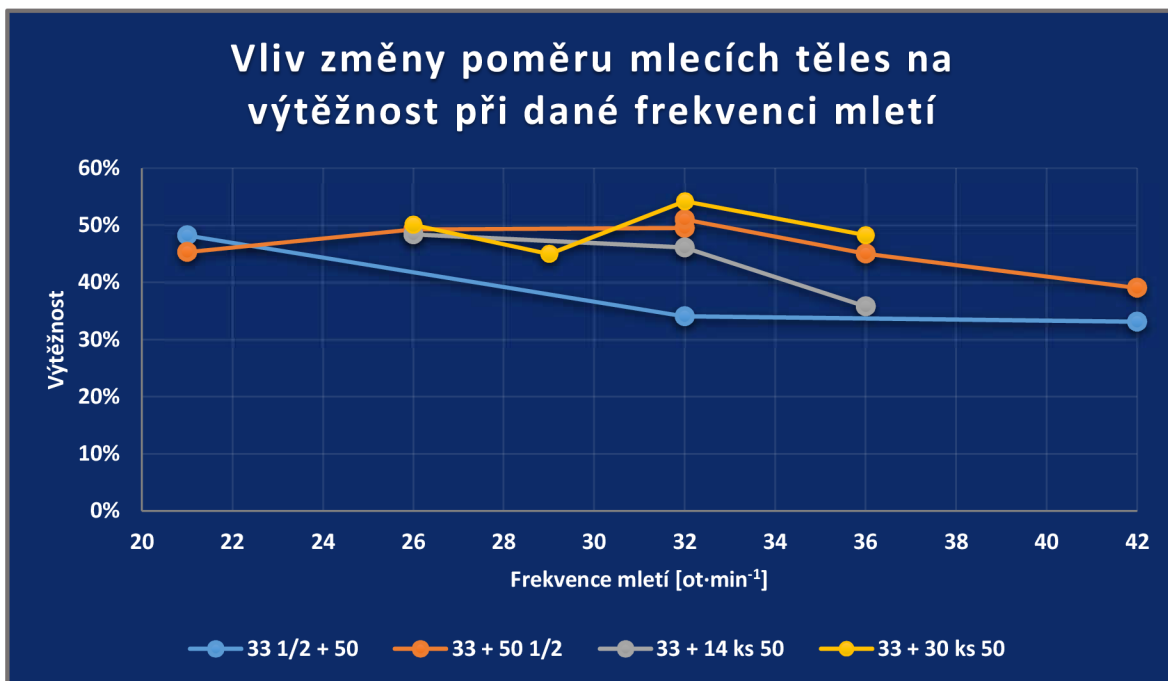
Tabulka 11 Křivka zrnitosti - kulový mlýn ETAPA VI

Označení	Velikost mlecích těles [mm] (množství)	Zůstatky na sítích (velikost ok sít v mm)				
		2	1	0,5	0,25	0
1	33 + 50 (½ 33)	0%	36,5%	34,7%	28,5%	0%
2		0%	26,3%	34,1%	39,4%	0%
3		0%	16,2%	30,5%	51,8%	0%
4	33 + 50 (½ 50)	0%	42,1%	36,4%	21,0%	0%
5		0%	29,2%	36,5%	33,5%	0%
6		0%	18,3%	35,1%	46,4%	0%
7		0%	29,5%	35,4%	35,5%	0%
8		0%	28,5%	36,5%	34,5%	0%
9		0%	23,6%	35,1%	40,4%	0%
10	33 + 50 (14 ks 50)	0%	25,9%	33,9%	38,7%	0%
11		0%	31,7%	33,5%	34,1%	0%
12		0%	22,2%	32,9%	44,7%	0%
13	33 + 50 (30 ks 50)	0%	28,2%	36,3%	35,9%	0%
14		0%	33,2%	34,4%	32,0%	0%
15		0%	24,9%	35,4%	41,1%	0%
16		0%	32,3%	34,2%	34,3%	0%

Pozn. **10 %** - horních 30 %, **5 %** - dolních 30 %

Frakce > 2 a < 0,25 mm jsou zanedbány

33 + 50 (½ 33) - mlecí tělesa Ø 33 mm v polovičním množství a Ø 50 mm v plném množství



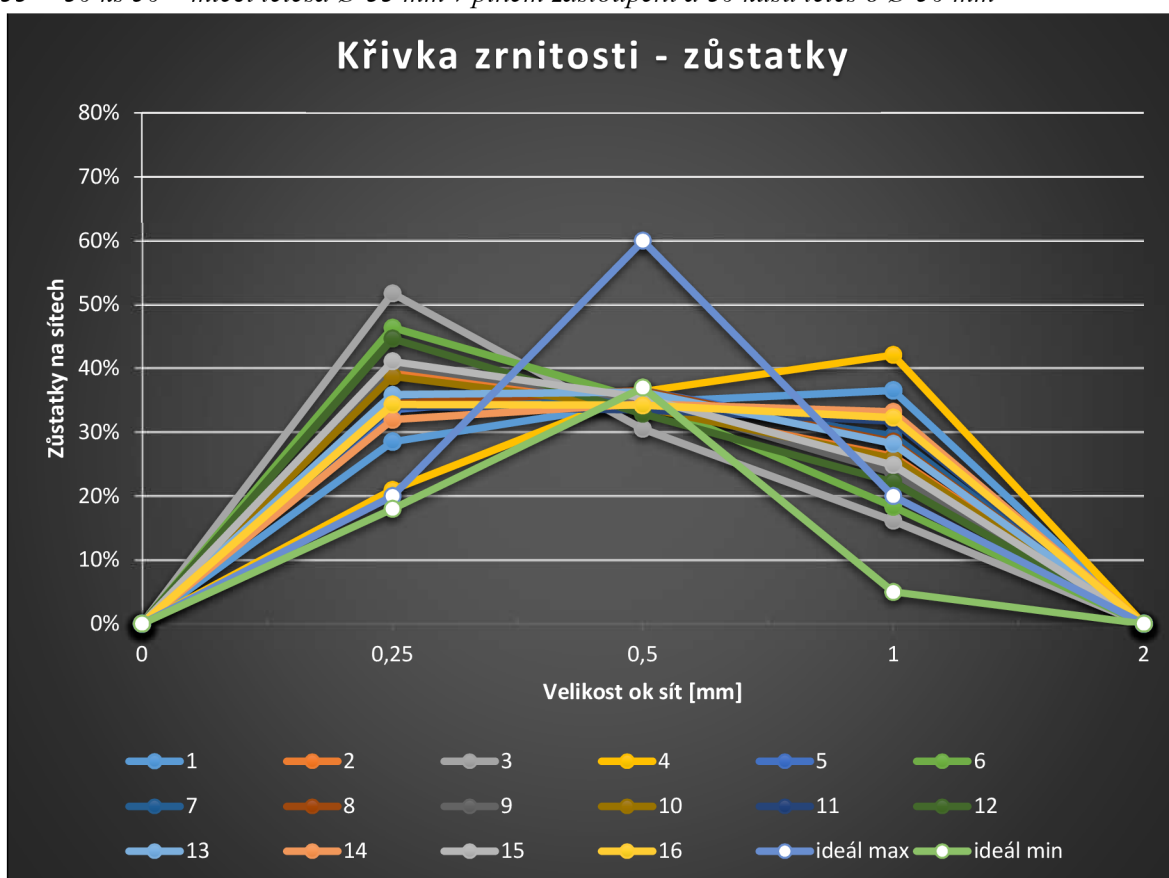
Graf 9 Vliv změny poměru mlecích těles na výtěžnost ETAPA VI

Označení: 33 1/2 + 50 – mlecí tělesa Ø 33 mm v polovičním množství a Ø 50 mm v plném zastoupení

33 + 50 1/2 – mlecí tělesa Ø 33 mm v plném zastoupení a Ø 50 mm v polovičním množství

33 + 14 ks 50 – mlecí tělesa Ø 33 mm v plném zastoupení a 14 kusů těles o Ø 50 mm

33 + 30 ks 50 – mlecí tělesa Ø 33 mm v plném zastoupení a 30 kusů těles o Ø 50 mm



Graf 10 Křivka zrnitosti - zůstatky ETAPA VI, Parametry mletí pro křivky 1-16 viz tabulka 10

17.5. Diskuse nad výsledky ETAPY VI

Cíle stanovit vliv změny poměru a množství mlecích těles na výtěžnost a křivku zrnitosti bylo dosaženo. V kulovém mlýně při otáčkách 21-42 ot·min⁻¹ bylo dosaženo následujících výsledků.

Měření 1-3 měly poměr mlecích těles 33 + 50 (½ 33), tedy tělesa o průměru 17 mm byla vynechána, tělesa s průměrem 33 mm byla použita v polovičním množství a těles o průměru 50 mm bylo plných 19,5 kg. Při tomto nastavení se dosáhlo nejnižších hodnot celkové produkce, produktivity a s tím i související výtěžnosti mletí. Výtěžnost se pohybuje okolo 33-34 %. Přestože u frekvence mletí 21 ot·min⁻¹ bylo dosaženo hodnoty výtěžnosti úctyhodných 48,3 %, přesto celková produkce 2,3 % a výtěžnost 1,1 % degradují tento výsledek. Tyto parametry mletí jsou tedy nevhodné pro účely této práce.

Měření 4-9 skýtá lepší výsledky. Mlecí tělesa 33 + 50 (½ 50), tělesa o průměru 33 mm v plném množství 25 kg a o průměru 50 mm v polovičním množství pouhých 9,75 kg, zajistila výtěžnost v rozmezí 39-51 %. Dle grafu 9 je možné pozorovat rostoucí tendenci výtěžnosti při rostoucí rychlosti otáček až do maximální hodnoty 32 ot·min⁻¹ s výtěžností 49-51 %. Díky náhodě byl tento stav mletí nastaven dvakrát. Krásně ukazuje nízký rozptyl výtěžnosti při dosažení téměř totožné křivky zrnitosti, 28,5-29,2 % frakce 1-2 mm, 36,5 % frakce 0,5-1 mm a 33,5-34,5 % 0,25-0,5 mm.

Měření 10-12 mělo rozložení mlecích těles 33 + 50 (14 ks 50), což odpovídá 25 kg koulím 33 mm a 7 kg koulím o průměru 50 mm. Otáčky zde byly pouze v rozmezí 26-36 ot·min⁻¹, krajní hodnoty 21 a 42 ot·min⁻¹ naznačují tendenci výtěžnosti spíše klesající. Výtěžnost se pohybuje v rozmezí 35-48 %, což by mohlo být vyhovující, ale křivka zrnitosti dosahuje jedněch z nejhorších hodnot ve stěžejní frakci 0,5-1 mm. Hodnoty zůstatku odpovídají pouhým 32-33 %. Opět se jedná o nevhodný způsob mletí.

Poslední mletí 13-16 s nastavením mletí 33 + 50 (30 ks 50) a rozmezí otáček 32-36 ot·min⁻¹ dosáhlo výtěžnosti 45-54 %. Množství mlecích těles s průměrem 33 mm bylo opět 25 kg a o průměru 50 mm 15 kg. Konečné křivky zrnitosti i přes příznivé množství hodnot zůstatku u frakce 0,5-1 mm (34-36 %), má značný obsah frakce 0,25-0,5 mm (35-41 %). Větší množství jemných podílů by zvyšovalo nutnou dávku pojiva a nepříznivě tak působilo na cenu.

Nejvhodnější způsob mletí se jeví při poměru mlecích těles 33 a ½ 50, otáčkách 32 ot·min⁻¹ a vsázce cca 3 kg. Dále nejlepších hodnot bylo dosaženo při rozložení mlecích těles 33 a 30 ks 50, 32 ot·min⁻¹ a vsázce cca 3 kg. I přes lehkou převahu frakce 0,25-0,5 mm s 38,7 % nad 1-2 mm v množství 28,2 %, dosáhla výtěžnost úctyhodných 54,2 %.

Dále již bude možné vybrat vhodné křivky zrnitosti, které budou následně použity při tvorbě polymerbetonů pro porovnání s polymerbetony s křemičitými písky používanými firmou Atemit.

18. ETAPA VII

18.1. Cíl

Vybrané zástupce mletého skla s různými křivkami zrnitosti použít pro výrobu polymerbetonových zkušebních vzorcích.

18.2. Postup

1. Výběr vhodných zástupců 3 různých křivek zrnitosti pro výrobu polymerbetonů
2. Mletí vzorků na kulovém mlýně dle daných parametrů
3. Stanovení křivek zrnitosti síťovým rozbořem a porovnání s požadovanou granulometrií
4. Stanovení křivky zrnitosti laserovou granulometrií

18.3. Použité pomůcky

- Ochranné pomůcky – brýle, pogumované rukavice, respirátor, plášť, dlouhé kalhoty
- Pracovní pomůcky – lopatka, normová sada sít, malířský štětec, misky, váhy s přesností na 0,01 g
- Přístroje – Kulový mlýn – Omílací buben OM 20F

18.4. Výsledek

18.4.1. Vybrané křivky zrnitosti

Tabulka 12 Vybrané vzorky

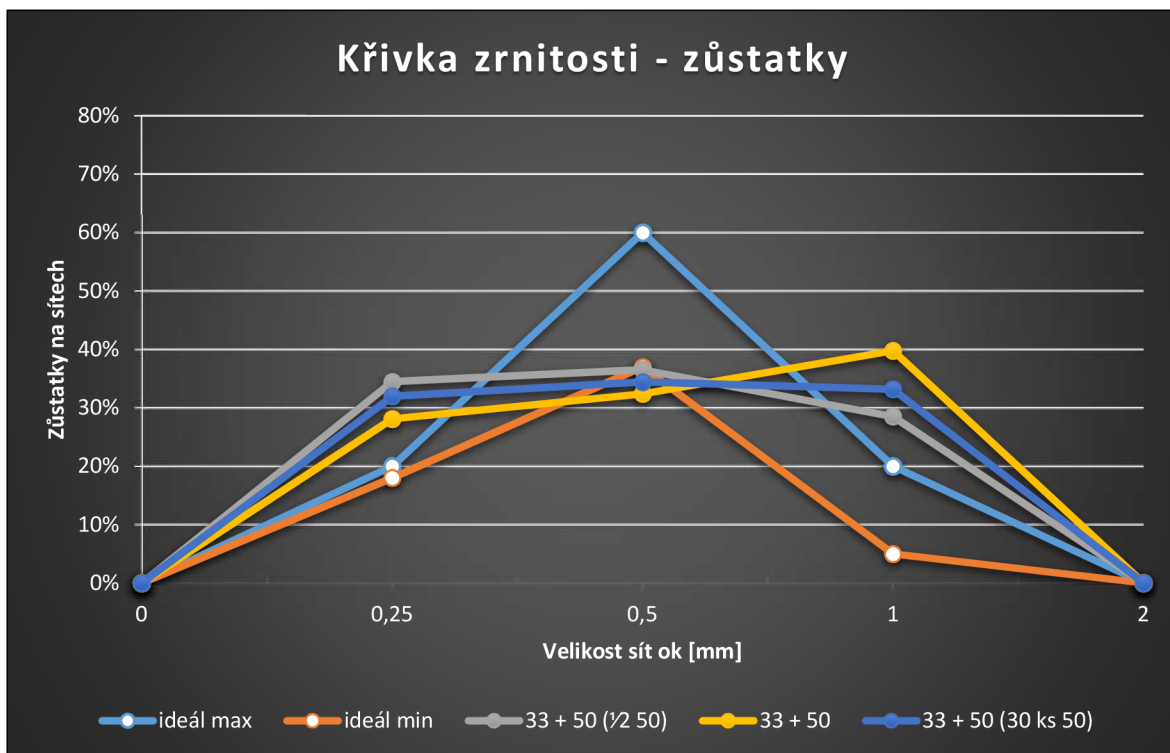
Označení	Velikost a množství mlecích těles [mm] (množství)	Množství mlecích těles [kg]	Rychlost otáček [ot·min ⁻¹]	Čas odběru [min]	Celková produkce	Produktivita	Výtěžnost
1	33 + 50 (½ 50)	35	32	10	28,6%	14,6%	51,1%
2	33 + 50	45	24		44,2%	24,2%	54,7%
3	33 + 50 (30 ks 50)	40	26		27,1%	13,6%	50,1%

Pozn. (Celková prod., produktivita a výtěžnost viz 15.4.1-3)

33 + 50 (½ 50) - mlecí tělesa Ø 33 mm v plném množství a Ø 50 mm v polovičním množství

Tabulka 13 Vybrané křivky zrnitosti - zůstatky

Označení	Velikost mlecích těles [mm] (množství)	Zůstatky na sítích (velikost ok sít v mm)				
		2	1	0,5	0,25	0
1	33 + 50 (½ 50)	0%	29%	37%	34%	0%
2	33 + 50	0%	40%	32%	28%	0%
3	33 + 50 (30 ks 50)	0%	33%	34%	32%	0%



Graf 11 Vybrané křivky zrnitosti – zůstatky, parametry mletí viz tabulka 12

18.4.2. Mletí vybraných křivek zrnitostí

Tabulka 14 Mletí na kulovém mlýně - vybrané vzorky ETAPA VII

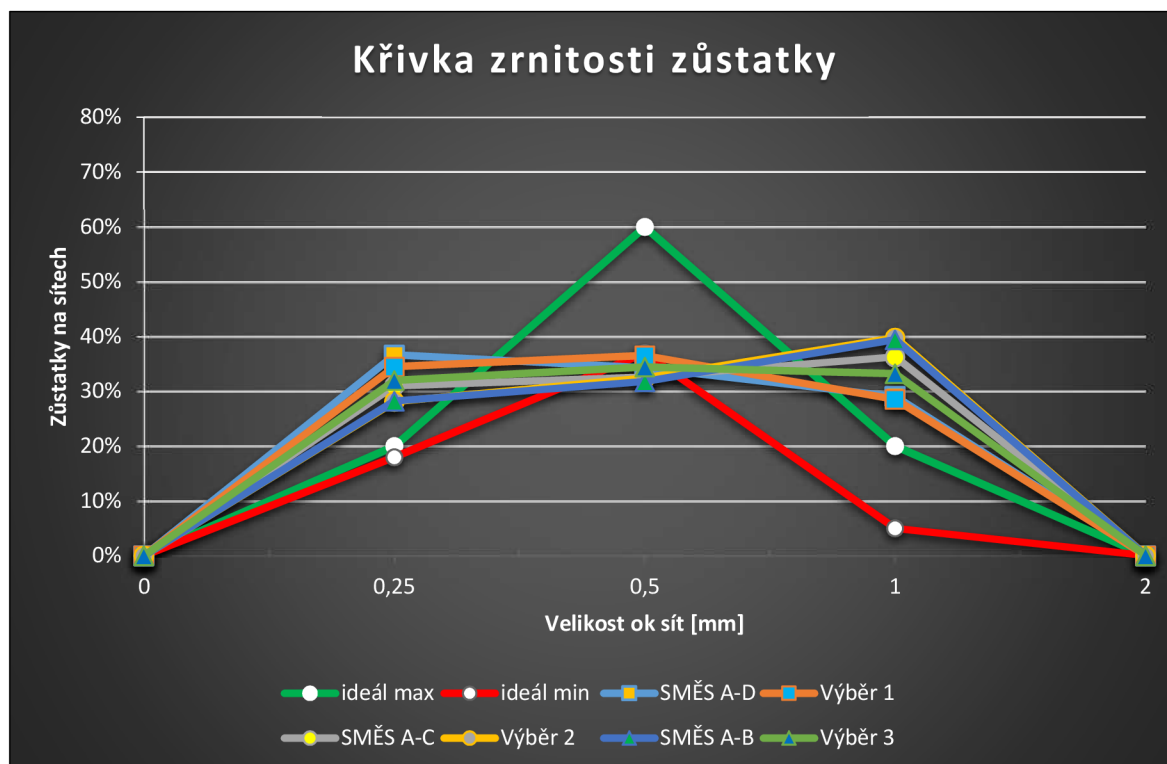
Označení	Velikost a množství mlecích těles [mm] (množství)	Množství mlecích těles [kg]	Rychlost otáček [ot·min ⁻¹]	Čas odběru [min]	Hmotnost vsázky [g]	Hmotnost namletého vzorku frakce 0,25-2 mm [g]	Celková produkce	Produktivita	Výtěžnost
A	33 + 50 (1/2 50)	32	32	10	3000	661,69	49,9%	22,1%	44,2%
B					3000	386,22	41,5%	19,3%	46,6%
C					3000	1067,13	67,6%	35,6%	52,6%
D					3000	829,12	54,1%	27,6%	51,1%
SMĚS					12000	2944,16	49,8%	24,5%	49,3%
A	33 + 50	45	24		3000	1044,37	63,4%	34,8%	54,9%
B					3000	1180,66	70,8%	39,4%	55,6%
SMĚS					6000	2225,03	67,1%	37,1%	55,3%
A	33 + 50 (30 ks 50)	40	32		3000	705,62	47,1%	23,5%	49,9%
B					3000	899,84	57,2%	30,0%	52,4%
C				3000	778,50	48,0%	26,0%	54,1%	
SMĚS				9000	2383,96	50,8%	26,5%	52,2%	

Pozn. (Celková prod., produktivita a výtěžnost viz 15.4.1-3); 33+50 (1/2 50) viz Seznam zkratk

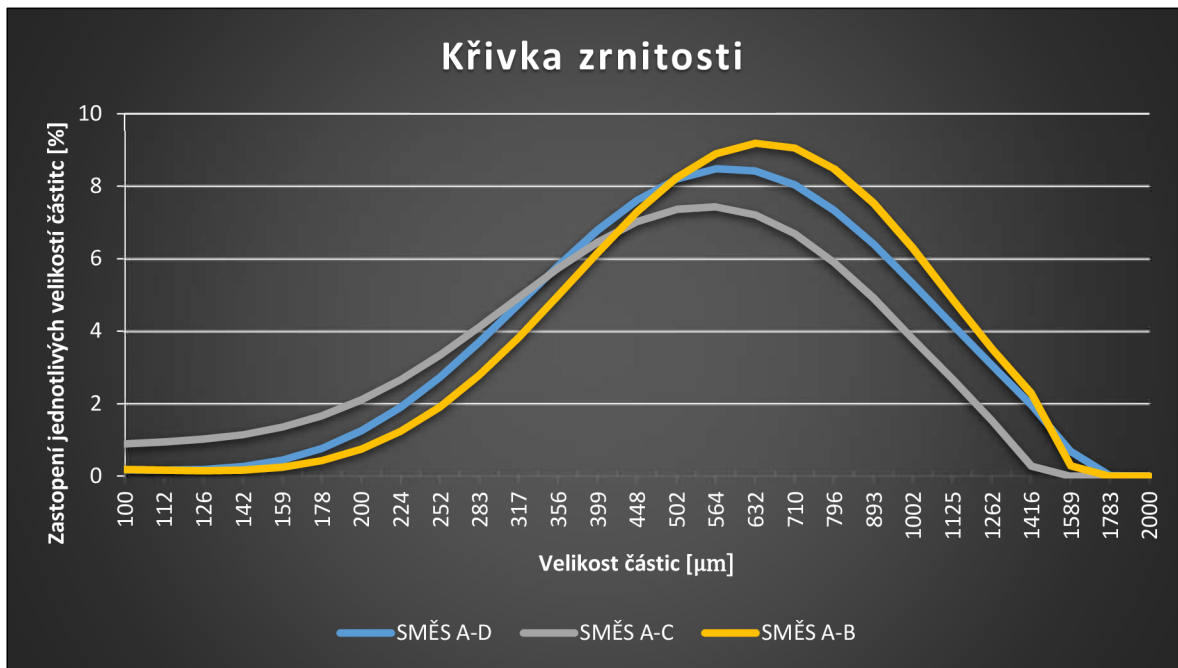
Tabulka 15 Křivka zrnitosti - vybrané vzorky ETAPA VII

Označení	Velikost mlecích těles [mm] (množství)	Zůstatky na sítích (velikost ok sít v mm)				
		2	1	0,5	0,25	0
A	33 + 50 (½ 50)	0%	27%	33%	40%	0%
B		0%	29%	33%	37%	0%
C		0%	28%	35%	36%	0%
D		0%	33%	34%	34%	0%
SMĚS		0%	29%	34%	37%	0%
A	33 + 50	0%	40%	31%	28%	0%
B		0%	39%	32%	28%	0%
SMĚS		0%	39%	32%	28%	0%
A	33 + 50 (30 ks 50)	0%	38%	33%	29%	0%
B		0%	35%	34%	31%	0%
C		0%	36%	30%	33%	0%
SMĚS		0%	36%	33%	31%	0%

Pozn. Frakce > 2 a < 0,25 mm jsou zanedbány



Graf 12 Křivka zrnitosti - zůstatky ETAPA VII, parametry mletí viz tabulka 14



Graf 13 Křivka zrnitosti - laserová granulometrie



Graf 14 Křivka zrnitosti - laserová granulometrie jemných podílů

18.5. Diskuse výsledků ETAPY VII

Z předchozích mletí skla byli vybráni 3 zástupci dle následujících kritérií. Výťažnost vyšší než 45 %, zůstatek na síť 0,5 mm vyšší než 32 %, frakce 0,5-1 mm pokud možno s největším zastoupením nebo druhým největším po frakci 1-2 či 0,25-0,5 mm. Dále by křivka zrnitosti měla zastupovat nejvýraznější typ křivky, maximum frakce 1-2, 0,5-1 a 0,25-0,5 mm.

Vhodní zástupci jsou v tabulce 10 *Vybrané vzorky*. Je jím sklo mleté mlecími tělesy 33 mm a ½ ks 50 mm s nejvyšším zastoupením frakce 0,5-1 mm. Dále skla mletá s použitím mlecích těles 33 a 50 mm u vzorku 2. U vzorku 3 byl poměr mlecích těles 33 mm a 30 ks 50 mm. Oba vzorky dosáhly maxima u frakci 1-2 mm a 0,5-1 mm.

Při nastavení daných parametrů mletí vzniklo mleté sklo obdobné křivky zrnitosti jako vybraná trojice. Dle vybraného vzorku 1 byla vytvořena směs A-D a křivky zrnitostí byly následující 1-2 mm 29 % u obou směsí, 0,5-1 mm 37 % u vzorku 1 a směs A-D měla lehce méně 33 % a frakce 0,25-0,5 mm je v zastoupení u vzorku 1 34 % a u směsi A-D 37 %. Je možné křivky prohlásit za velmi podobné, možné odchylky od požadavku se dají jednoduše korigovat odebráním z určitých frakcí.

Dle vzorku 2 byla vytvořena směs A-B. Zde frakce až na 1-2 mm jsou totožné. 1-2 mm odpovídá u vzorku 2 40 % a u směsi 39 %, 0,5-1 mm 32 % u obou recyklovaných skel a frakce 0,25-0,5 mm jsou taktéž totožné na hodnotě 28 %. Od pohledu na výsledné hodnoty je možné křivky považovat za naprosto totožné.

Vzorek 3 popsal parametry k mletí pro směs A-C. Nejvyšší odchylku skýtá frakce 1-2 mm, kde vzorek 3 má 33 % a směs 36 %, 0,5-1 mm u 3 dosahuje hodnoty 34 % a směs 33 %, frakce 0,25-0,5 mm odpovídá 32 % u vzorku 3 a 31 % u směsi. I přes drobné odlišnosti můžeme také oba vzorky považovat za velmi blízké. Na základě těchto výsledků se potvrdil fakt, že stejné nastavení parametrů mlecího stroje zajistí stálý výsledek s drobnými odchylkami způsobenými vymíláním vsázky a nemožností kontinuálního provozu, který by mohl výrazně přispět ke zvýšení stálosti výsledků.

Dále na všech třech směsích byla provedena laserová granulometrie. Díky ní byla stanovena přesná granulometrie použitého skla. Je možné pozorovat, že všechny tři křivky dosahují maximální hodnoty obsahu částic v rozmezí velikostí 502-710 μm . Laserová granulometrie byla provedena i u referenčního vzorku písku dodaného firmou Atemit, ale z důvodu

zachování výrobního tajemství zde nebude uvedena. Referenční písky dosahují maximální hodnoty v rozmezí 632-1002 μm . Obsahují tedy o trochu více hrubších částic.

I jemné podíly pod 0,25 mm, které vždy byly separovány po mletí od základní směsi, prošly laserovou granulometrií. Do používaných plniv mletého skla by bylo možné v případě potřeby přidat cca 10 % z hmotnosti plniva těchto jemných podílů. Tento podsítný zbytek by mohl sloužit jako velmi vhodný materiál pro tvorbu hutnější struktury polymerbetonů.

Vybrané zástupce mletého skla s různými křivkami zrnitosti použít pro výrobu polymerbetonových zkušebních vzorcích.

19. ETAPA VIII

19.1. Cíl

Návrh a následné ověření postupu výroby polymerbetonových zkušebních vzorcích s objemovou hmotností okolo $2000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Stanovení pevnosti v tahu za ohybu i v tlaku na zlomcích po 24 h.

19.2. Postup

1. Navážení pojiva (poměr mísení složky A:B 75:25)
2. Promíchání
3. Přidání přesně naváženého skelného plniva
4. Ruční homogenizace
5. Plnění ocelové formy na zkušební vzorky $20 \times 20 \times 100 \text{ mm}$ s potravinářskou fólií
6. Plnění formy a ruční hutnění
7. Po 24 h odformování a zjištění objemové hmotnosti
8. Stanovení pevnosti v tahu za ohybu a pevnosti v tlaku

19.2.1. Složení ETAPA VIII

Tabulka 16 Receptura ETAPA VIII

Označení receptury	Látky	Hmotnostní poměr	Hmotnost na 200 g [g]	Hmotnost na 1000 kg [kg]
1, 4, 7	Epoxid	1	12,5	62,5
	Sklo	15	187,5	937,5
2, 5, 8	Epoxid	1	18,2	90,9
	Sklo	10	181,8	909,1
3, 6, 9	Epoxid	1	33,3	166,7
	Sklo	5	166,7	833,3

Tabulka 17 Plnivo - skelný recyklát ETAPA VIII

Označení receptury	Velikost mlecích těles [mm] (množství)	Zůstatky na sítích (velikost ok sít v mm)				
		2	1	0,5	0,25	0
1-3	33 + 50 (½ 50)	0%	29%	37%	34%	0%
4-6	33 + 50 (½ 50)	11%	26%	31%	33%	0%
7-9	33 + 50 (½ 50)	10%	23%	28%	29%	10%

Pozn. 33+50 (½ 50) viz Seznam zkratk

19.3. Použité pomůcky

- Ochranné pomůcky – rukavice, plášť ½
- Pracovní pomůcky – lopatka, misky, váhy s přesností na 0,01 g, ocelová forma o rozměrech 20 × 20 × 100 mm, stěrka, plastový kelímek

19.4. Výsledek

Tabulka 18 Rozměry a objemové hmotnosti polymerbetonových zkušebních vzorků ETAPA VIII

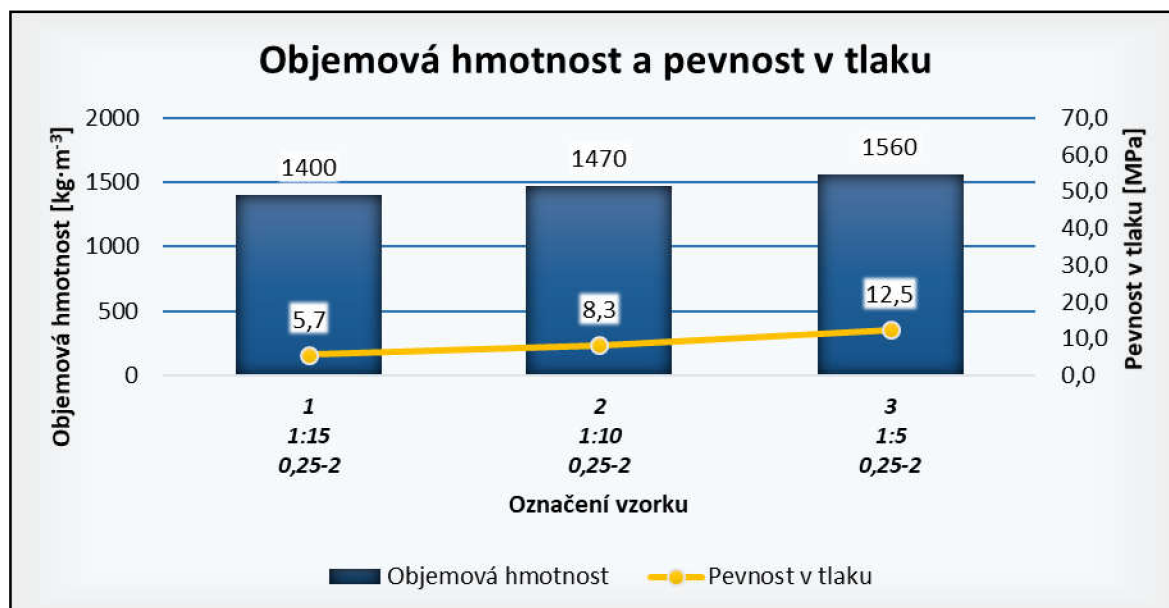
Popis	Označení	Ø b [mm]	Ø h [mm]	Ø l [mm]	Hmotnost m [g]	Objemová hmotnost [kg·m ⁻³]	Ø Objemová hmotnost [kg·m ⁻³]
1 1:15 0,25-2	A	21,2	20,1	100,9	60,2	1400	1400
	B	20,8	19,9	100,7	58,6	1400	
	C*	-	-	-	0,0	0	
2 1:10 0,25-2	A	20,7	20,1	102,8	63,0	1470	1470
	B	20,3	20,0	103,1	61,5	1470	
	C	20,4	20,2	102,9	61,9	1460	
3 1:5 0,25-2	A	20,9	19,9	100,3	66,2	1590	1560
	B	19,8	19,9	100,6	60,8	1530	
	C	18,9	19,7	100,3	58,5	1570	

Pozn. popis 1 1:15 0,25-2 - {číslo receptury} {poměr mísení} {frakce plniva}
vzorek 1 C* nebyl zkoušen z důvodu příliš velkých deformací

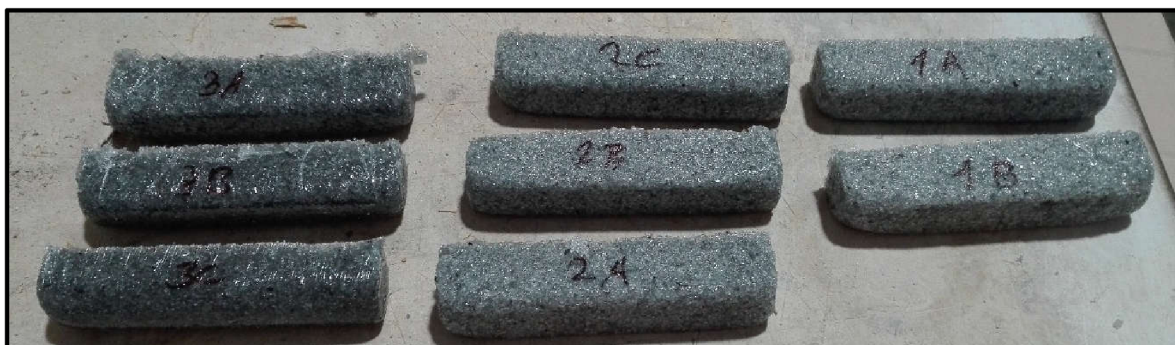
Tabulka 19 Vlastnosti polymerbetonových vzorků po 24 h ETAPA VIII

Popis	Označení	Maximální zatížení F_c [kN]		Pevnost v tlaku R_c [MPa]		\emptyset Pevnost v tlaku R_c [MPa]	Maximální zatížení F_f [kN]	Pevnost v tahu za ohybu R_f [MPa]	\emptyset Pevnost v tahu za ohybu R_f [MPa]
		2,3	2,4	5,6	6,0				
1 1:15 0,25-2	A	2,3	2,4	5,6	6,0	5,7	0,3	3,5	3,4
	B	2,2	2,4	5,4	5,9		0,2	3,3	
	C	0,0	0,0	0,0	0,0		-	0,0	
2 1:10 0,25-2	A	3,4	3,4	8,4	8,5	8,3	0,3	4,9	5,5
	B	3,1	3,5	7,6	8,6		0,4	5,9	
	C	3,1	3,6	7,8	9,0		0,4	5,8	
3 1:5 0,25-2	A	5,1	6,3	12,6	15,8	12,5	0,8	10,9	12,4
	B	4,9	5,1	12,1	12,6		0,8	11,5	
	C	4,3	4,5	10,6	11,1		0,9	14,8	

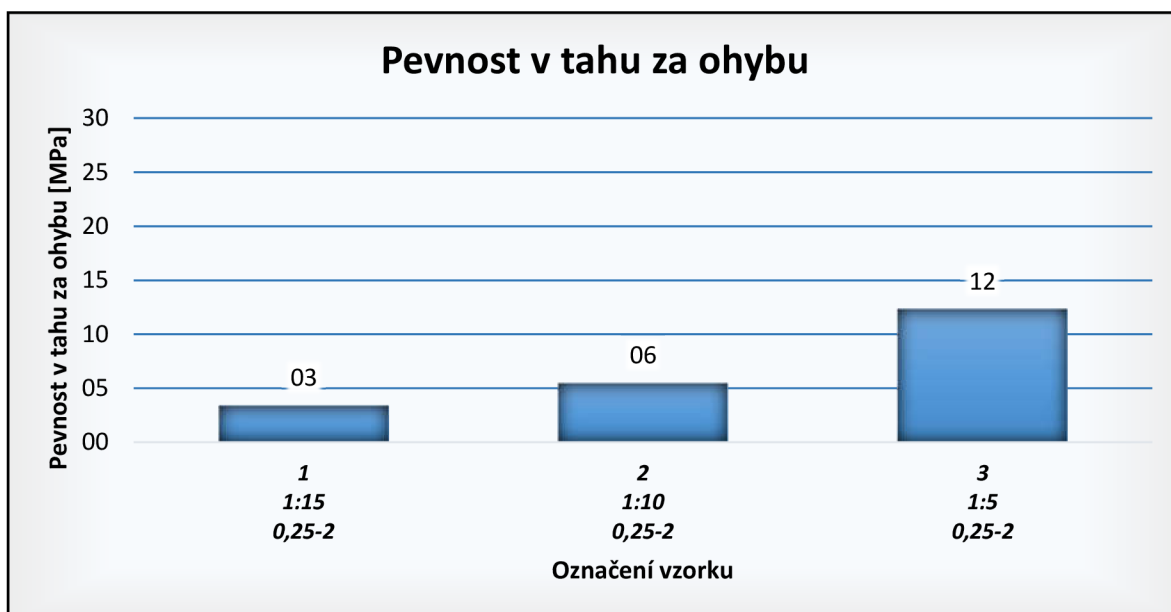
Pozn. popis 1 1:15 0,25-2 - {číslo receptury} {poměr mísení} {frakce plniva}



Graf 15 Objemová hmotnost a pevnost v tlaku polymerbetonových vzorků po 24 h ETAPA VIII
Pozn. popis 1 1:15 0,25-2 - {číslo receptury} {poměr mísení} {frakce plniva}



Obrázek 18 Polymerbetonové vzorky, 1 - 1:15, 2 - 1:10 a 3 - 1:5 (autor)



Graf 16 Pevnost v tahu za ohybu ETAPA VIII

Pozn. popis 1 1:15 0,25-2 - {číslo receptury} {poměr mísení} {frakce plniva}

19.5. Diskuse výsledků

V rámci ETAPY VIII byly dle receptury konzultované s firmou Atemit vyrobeny vzorky z polymerbetonu a provedeno stanovení objemové hmotnosti i pevnosti v tahu za ohybu a pevnosti v tlaku.

Byla vytvořena tři tělesa s hmotnostním poměrem pojiva, plniva 1:5, 1:10 a 1:15. Pojivo vyžadovalo poměr mísení složky A:B 75:25. Epoxidové pojivo poskytla firma Atemit.



Obrázek 19 Tvar polymerbetonových zkušebních vzorků (autor)

Na pozici plniva byl použit skelný recyklát vyrobený použitím mlecích těles 33 mm a 50 mm. Křivka zrnitosti skelného recyklátu dosahuje hodnot frakce 1-2 mm 40 %, 0,5-1 mm 32 % a 0,25-0,5 mm 28 %.

Nejprve bylo naváženo epoxidové pojivo s přesností na 0,1 g, poté následovala dokonalá homogenizace obou složek. Mísení probíhalo do té doby, než epoxidová směs získala stejné nažloutlé zabarvení v celém svém objemu. K pojivu se přidalo plnivo ve dvou dávkách. Po dostatečném promíchání a obalení zrn skla epoxidem byla přidána druhá polovina naváženého skelného recyklátu. Vytvořenou směsí se plnila ocelová forma po třetinách a každá vrstva byla ručně pěchována. Na závěr bylo provedeno zarovnání povrchu zkušební vzorky stěrkou. V rámci prvotní výroby byl proveden test na zhutnění s pomocí vibračního stolku, leč neúspěšně. Směs 1:5 byla vysoce viskózní a lepivá. Při poměru 1:15 zase směs vykazovala povahu suchou až sypkou. Takovouto směs je možné hutnit pouze tlakem.

Vytvořené vzorky byly po 24 hodinách odformovány, změřeny ve třech směrech s přesností na 0,01 mm, zváženy a následně byly stanoveny pevnosti v tahu za ohybu a tlaku. (viz tab. 16-17)

Požadavku na objemovou hmotnost blízkou hodnotě $2000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ nebylo dosaženo kvůli vzniku zaoblení vzorku při spodní straně formy z důvodu vypnutí potravinářské fólie použité místo odbedňovacího oleje. Objemová hmotnost byla nahrubo stanovena výpočtem, byl předpokládán objem tvaru kvádrů. Z toho důvodu je objemová hmotnost zatížena vysokou nepřesností a působí velmi orientačním dojmem. Přesto můžeme pozorovat nárůst objemové hmotnosti z $1400 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ na $1560 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, s tím korespondující pevnosti v tlaku z 5,7 na 12,5 MPa díky nárůstu obsahu epoxidového pojiva z poměru 1:15 na 1:5. Pevnost v tahu za ohybu rostla z 3,4 na 12,4 MPa taktéž díky nárůstu obsahu pojivové složky.

V příští etapě bude kladen větší důraz na tvorbu ostrohranných vzorků. Potravinová fólie, která zajišťuje odformovatelnost, bude tak dlouhá, aby nedocházelo k jejímu napínání a tvorbě zaoblených hran vzorků.

20. ETAPA IX

20.1. Cíl

Výroba polymerbetonových zkušební vzorky s objemovou hmotností okolo $2000 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ s úpravou použití potravinářské fólie, aby se tvar vzorků blížil kvádru. Stanovení pevnosti v tahu za ohybu i v tlaku na zlomcích po 24 h.

20.2. Postup

1. Navážení pojiva (poměr mísení složky A:B 75:25)
2. Promíchání
3. Přidání přesně naváženého skelného plniva
4. Ruční homogenizace
5. Plnění ocelové formy na zkušební vzorky $20 \times 20 \times 100 \text{ mm}$ s potravinářskou fólií
6. Plnění formy a ruční hutnění
7. Po 24 h odformování a zjištění objemové hmotnosti
8. Stanovení pevnosti v tahu za ohybu a pevnosti v tlaku

20.2.1. Složení ETAPA IX

Tabulka 20 Receptura ETAPA IX

Označení receptury	Látky	Hmotnostní poměr	Hmotnost na 250 g [g]	Hmotnost na 1000 kg [kg]
1, 4, 7	Epoxid	1	15,6	62,5
	Sklo	15	234,4	937,5
2, 5, 8	Epoxid	1	22,7	90,9
	Sklo	10	227,3	909,1
3, 6, 9	Epoxid	1	41,7	166,7
	Sklo	5	208,3	833,3

Tabulka 21 Plnivo - skelný recyklát ETAPA IX

Označení receptury	Velikost mlecích těles [mm] (množství)	Zůstatky na sítích (velikost ok sít v mm)				
		2	1	0,5	0,25	0
1, 2, 3	33 + 50 (½ 50)	0%	29%	37%	34%	0%
4, 5, 6	33 + 50 (½ 50)	11%	26%	31%	33%	0%
7, 8, 9	33 + 50 (½ 50)	10%	23%	28%	29%	10%

Pozn. Pozn. 33+50 (½ 50) viz Seznam zkratk

Tabulka 22 Receptura ETAPA IX - schéma kombinace plniva a pojiva

Receptura	Poměr epoxid:plnivo			Frakce plniva		
	1:15	1:10	1:5	0,25-2	0,25-2<	<0,25-2<
1	✓			✓		
2		✓		✓		
3			✓	✓		
4	✓				✓	
5		✓			✓	
6			✓		✓	
7	✓					✓
8		✓				✓
9			✓			✓

20.3. Použité pomůcky

- Ochranné pomůcky – rukavice, plášť
- Pracovní pomůcky – lopatka, misky, váhy s přesností na 0,01 g, ocelová forma o rozměrech 20 × 20 × 100 mm, stěrka, plastový kelímek

20.4. Výsledek

Tabulka 23 Rozměry a objemové hmotnosti polymerbetonových zkušebních vzorků po 24 h (ETAPA IX) Plnivo frakce 0,25-2 mm

Popis	Označení	Ø b [mm]	Ø h [mm]	Ø l [mm]	Hmotnost m [g]	Objemová hmotnost [kg·m ⁻³]	Ø Objemová hmotnost [kg·m ⁻³]
1 1:15 0,25-2	1.1	20,2	19,9	102,6	59,93	1460	1470
	1.2	20,1	19,8	102,7	60,38	1480	
	1.3	20,7	20,0	102,5	62,01	1460	
2 1:10 0,25-2	2.1	20,3	19,9	101,3	62,26	1520	1500
	2.2	21,1	19,9	101,0	62,78	1490	
	2.3	20,7	19,8	100,7	61,89	1500	
3 1:5 0,25-2	3.1	17,9	19,9	100,6	56,49	1570	1650
	3.2	19,8	20,1	100,8	66,92	1670	
	3.3	19,2	19,9	101,1	65,55	1700	

Pozn. popis 1 1:15 0,25-2 - {číslo receptury} {poměr mísení} {frakce plniva}

Tabulka 24 Vlastnosti polymerbetonových vzorků po 24 h (ETAPA IX) Plnivo frakce 0,25-2 mm

Popis	Označení	Maximální zatížení F _c [kN]		Pevnost v tlaku R _c [MPa]		Ø Pevnost v tlaku R _c [MPa]	Maximální zatížení F _f [kN]	Pevnost v tahu za ohybu R _f [MPa]	Ø Pevnost v tahu za ohybu R _f [MPa]
1 1:15 0,25-2	1.1	2,3	3,4	5,8	8,5	7,5	0,3	3,8	3,7
	1.2	3,0	2,6	7,4	6,5		0,3	3,8	
	1.3	3,5	3,2	8,8	8,0		0,3	3,6	
2 1:10 0,25-2	2.1	4,9	4,3	12,1	10,8	11,2	0,4	5,9	6,1
	2.2	4,5	4,4	11,1	10,9		0,5	6,5	
	2.3	4,5	4,5	11,3	11,3		0,4	5,9	
3 1:5 0,25-2	3.1	7,3	6,9	18,1	17,1	20,0	1,0	16,9	17,4
	3.2	9,7	7,9	24,1	19,8		1,2	18,0	
	3.3	8,3	8,0	20,6	20,0		1,1	17,4	

Tabulka 25 Rozměry a objemové hmotnosti polymerbetonových zkušebních vzorků po 24 h (ETAPA IX) Plnivo frakce 4-0,25 mm

Popis	Označení	Ø b [mm]	Ø h [mm]	Ø l [mm]	Hmotnost m [g]	Objemová hmotnost [kg·m ⁻³]	Ø Objemová hmotnost [kg·m ⁻³]
4 1:15 0,25-2<	4.1	20,4	20,1	103,1	62,1	1470	1460
	4.2	20,8	20,1	102,9	62,67	1450	
	4.3	21,5	20,1	102,4	64,57	1460	
5 1:10 0,25-2<	5.1	20,3	20,0	101,5	61,67	1500	1500
	5.2	20,5	19,9	101,3	61,8	1500	
	5.3	20,5	20,1	101,3	63,13	1510	
6 1:5 0,25-2<	6.1	20,0	19,9	100,6	68,53	1710	1680
	6.2	21,0	19,8	100,9	71,67	1710	
	6.3	21,1	20,0	101,3	68,84	1610	

Pozn. popis 4 1:15 0,25-2< - {číslo receptury} {poměr mísení} {frakce plniva}

Tabulka 26 Vlastnosti polymerbetonových vzorků po 24 h (ETAPA IX) Plnivo frakce 4-0,25 mm

Popis	Označení	Maximální zatížení F _c [kN]		Pevnost v tlaku R _c [MPa]		Ø Pevnost v tlaku R _c [MPa]	Maximální zatížení F _f [kN]	Pevnost v tahu za ohybu R _f [MPa]	Ø Pevnost v tahu za ohybu R _f [MPa]
4 1:15 0,25-2<	4.1	3,2	3,8	8,0	9,5	8,6	0,5	6,6	5,7
	4.2	3,4	3,8	8,4	9,4		0,4	5,7	
	4.3	3,4	3,2	8,5	8,0		0,4	4,8	
5 1:10 0,25-2<	5.1	3,8	4,3	9,5	10,6	10,1	0,4	5,9	6,6
	5.2	3,9	4,2	9,8	10,5		0,5	6,6	
	5.3	4,2	4,0	10,4	9,9		0,5	7,3	
6 1:5 0,25-2<	6.1	6,9	8,5	17,1	21,3	19,6	1,1	15,9	14,4
	6.2	8,8	7,7	22,0	19,1		1,0	14,6	
	6.3	7,4	7,9	18,4	19,8		0,9	12,8	

Tabulka 27 Rozměry a objemové hmotnosti polymerbetonových zkušebních vzorků po 24 h (ETAPA IX)

Plnivo frakce 4-0,25 mm a 10 % < 0,25 mm

Popis	Označení	Ø b [mm]	Ø h [mm]	Ø l [mm]	Hmotnost m [g]	Objemová hmotnost [kg·m ⁻³]	Ø Objemová hmotnost [kg·m ⁻³]
7 1:15 <0,25-2<	7.1	19,7	20,0	100,7	62,19	1570	1560
	7.2	21,0	19,8	100,3	63,93	1530	
	7.3	20,8	19,9	100,6	64,99	1570	
8 1:10 <0,25-2<	8.1	19,5	19,9	98,7	63,28	1650	1640
	8.2	19,8	20,0	99,2	65,16	1660	
	8.3	20,5	20,0	99,6	65,92	1620	
9 1:5 <0,25-2<	9.1	21,4	19,9	99,9	76,24	1800	1790
	9.2	21,0	19,9	99,8	76,62	1830	
	9.3	21,5	20,0	99,6	75,14	1750	

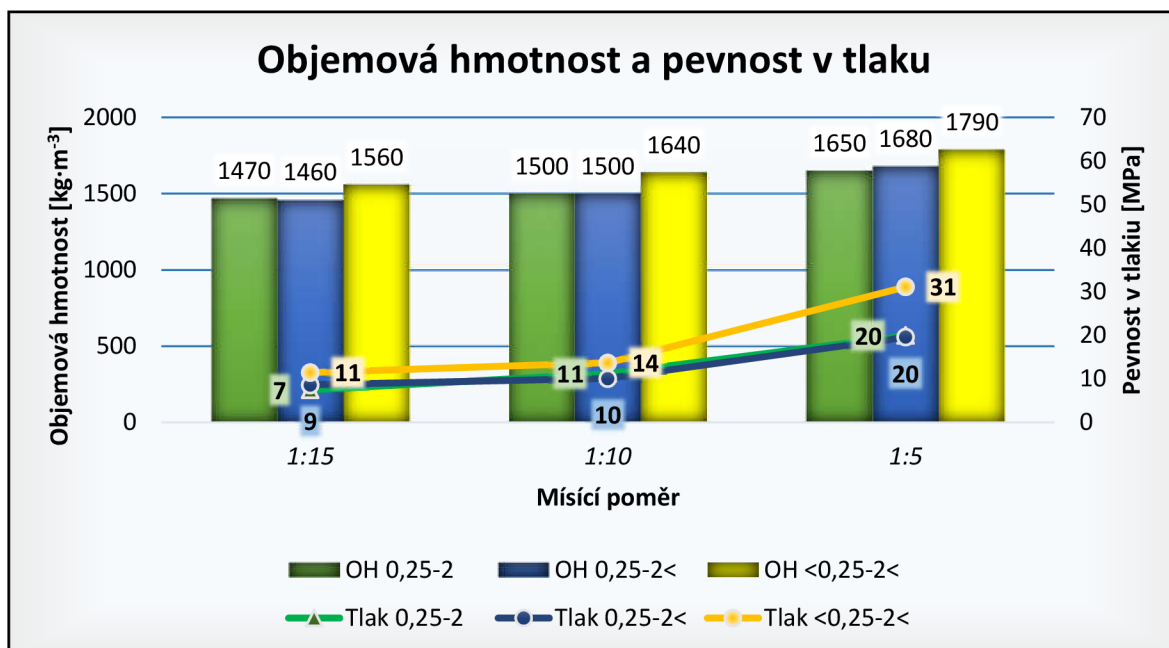
Pozn. popis 7 1:15 <0,25-2 - {číslo receptury} {poměr mísení} {frakce plniva}

Tabulka 28 Vlastnosti polymerbetonových vzorků po 24 h (ETAPA IX)

Plnivo frakce 4-0,25 mm a 10 % < 0,25 mm

Popis	Označení	Maximální zatížení F _c [kN]		Pevnost v tlaku R _c [MPa]		Ø Pevnost v tlaku R _c [MPa]	Maximální zatížení F _f [kN]	Pevnost v tahu za ohybu R _f [MPa]	Ø Pevnost v tahu za ohybu R _f [MPa]
7 1:15 <0,25-2<	7.1	4,5	4,4	11,3	10,9	11,5	0,5	6,9	6,9
	7.2	4,4	4,4	10,9	10,9		0,5	6,6	
	7.3	5,1	4,9	12,6	12,3		0,5	7,3	
8 1:10 <0,25-2<	8.1	5,4	5,0	13,4	12,5	13,7	0,6	8,6	8,8
	8.2	5,9	5,9	14,6	14,6		0,6	9,1	
	8.3	5,4	5,4	13,5	13,5		0,6	8,8	
9 1:5 <0,25-2<	9.1	11,0	12,3	27,5	30,8	31,1	1,6	22,0	22,5
	9.2	13,4	13,2	33,5	33,0		1,7	24,5	
	9.3	13,1	11,8	32,6	29,5		1,5	20,9	

Pozn. popis 7 1:15 <0,25-2< - {číslo receptury} {poměr mísení} {frakce plniva}



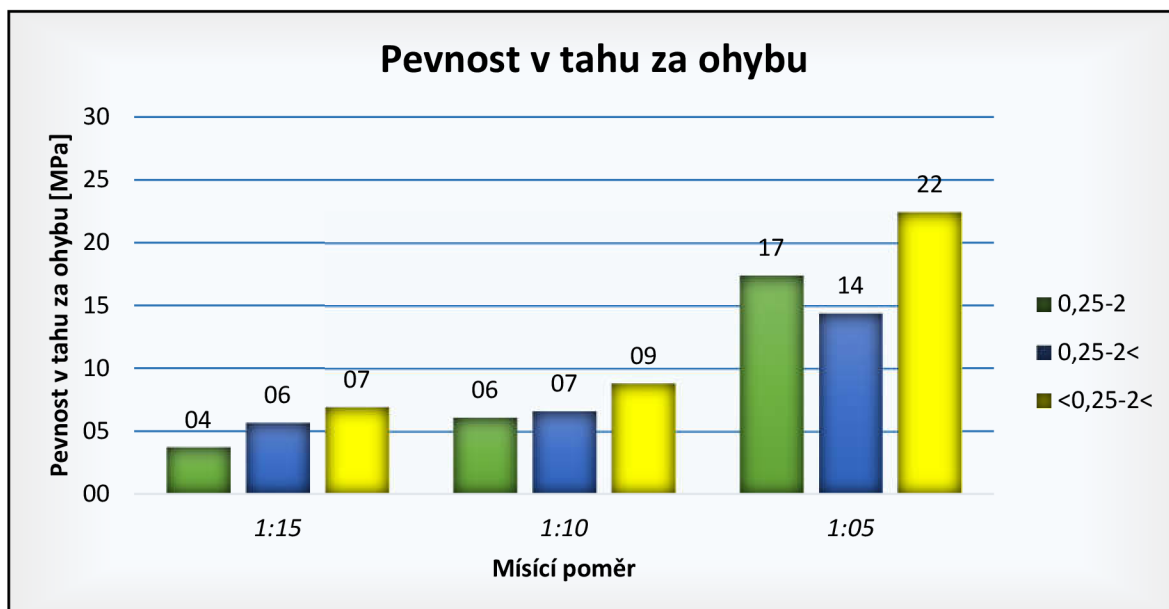
Graf 17 Objemová hmotnost a pevnost v tlaku polymerbetonových vzorků po 24 h ETAPA IX
Pozn.

1:15 – mísící poměr epoxid:plnivo

0,25-2 - frakce plniva 0,25-2 mm

0,25-2< - frakce plniva 0,25-2 mm a nadsítový zbytek

<0,25-2< - podsítový zbytek v množství 10 % z celkové hmotnosti plniva, frakce 0,25-2 mm a nadsítový zbytek



Graf 18 Pevnost v tahu za ohybu v závislosti na šíři frakce plniva ETAPA IX



Obrázek 20 Polymerbetonové zkušební vzorky z mletého skla, nahoře 1:15, uprostřed 1:10 a dole 1:5 ETAPA IX (autor)

20.5. Diskuse výsledků ETAPY IX

V této etapě byly vytvořeny vzorky dle tří receptur s poměrem pojivo plnivo 1:15, 1:10 a 1:5. Firmy využívající polymerbetony k realizaci podlahových systémů se pohybují v okolí těchto poměrů mísení. Jako plnivo byl použit skelný recyklát s křivkou zrnitosti vytvořenou na kulovém mlýně za použití mlecích těles o průměru 33 mm a ½ množství 50 mm těles. Křivka zrnitosti má následující průběh 29 % 1-2 mm, 37 % 0,5-1 mm a 34 % 0,25-0,5 mm. Toto skelné plnivo bylo modifikováno do třech podob po konzultaci s firmou Atemit. Z ekonomických důvodů se navrhlo přidat nadsítný zbytek větší než 2 mm a ve třetí modifikaci ještě přidat 10 % frakce < 0,25 mm pro zajištění lepšího vyskládání struktury skelných zrn do podoby hutné směsi s minimální mezerovitostí. Všechny vzorky byly po 24 hodinách změřeny, zváženy a byla na nich stanovena pevnost v tahu za ohybu i pevnost v tlaku.

Díky vystlání forem potravinářskou fólií bylo zajištěno rychlé a snadné odformování vzorků, přesto zkušební vzorky stále vykazují zaoblené hrany, viz obr. výše, což způsobuje nepřesnosti při stanovování objemové hmotnosti. Stále nebylo dosaženo objemové hmotnosti okolo hodnoty $2000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. S nejvyšší pravděpodobností bude nutné použít k hutnění pěst, který by mohl zajistit lepší přenos síly do směsi a zajistit tak vyšší hutnost.

Vzorky s použitím frakce 0,25-2 mm dosáhly objemové hmotnosti při poměru 1:15 1470 kg·m⁻³, 1:10 1500 kg·m⁻³ a u 1:5 1650 kg·m⁻³. Při použití nadsítného zbytku > 2 mm bylo dosaženo téměř stejných hodnot, u 1:15 1460 kg·m⁻³, u 1:10 1500 kg·m⁻³ a u 1:5 1680 kg·m⁻³. Teprve po přidání jemných podílů < 0,25 mm v množství 10 % z celkové hmotnosti vzrostly objemové hmotnosti vzorků na hodnoty pro 1:15 1560 kg·m⁻³, 1:10 1640 kg·m⁻³ a pro 1:5 1790 kg·m⁻³. Je možné pozorovat nárůst o více jak 100 kg·m⁻³.

Na pevnostech v tlaku je vidět korelace s objemovými hmotnostmi. U použití úzké frakce 0,25-2 a i u přidání nadsítného zbytku v množství, které odpovídalo výrobě, bylo dosaženo obdobných hodnot pevnosti v tlaku. Při poměru 1:15 a úzké frakci byla pevnost 7,5 MPa a při přidání nadsítného zbytku 8,6 MPa. U 1:10 byly hodnoty pevností 11,2 a 10,1 MPa a u 1:5 20,0 a 19,6 MPa. Tedy bez žádné výrazné změny. Na druhou stranu přidání jemných podílů v množství 10 % zajistilo nárůst pevností v tlaku u 1:15 na 11,5 MPa, u 1:10 na 13,7 MPa a u 1:5 na 31,1 MPa. Na základě výsledků je možné prohlásit, že přidáním nadsítného zbytku z ekonomických důvodů je možné. Hodnoty pevností v tlaku tato skutečnost nijak neovlivňuje. Za to přídavek jemných podílů je nutností pro zajištění vyšší pevnosti a hutnější struktury polymerbetonů.

Pevnosti v tahu za ohybu vypadaly následovně. Při použití frakce 0,25-2 mm poměr 1:15 zajistil pevnost v tahu za ohybu 3,7 MPa, 1:10 6,1 MPa a 1:5 dosáhl celých 17,4 MPa. Nadsítný zbytek bez výraznějších změn umožnil při poměru 1:15 dosáhnout hodnoty 5,7 MPa pevnosti v tahu za ohybu, u 1:10 6,6 MPa a u 1:5 14,3 MPa. Jemné podíly díky hutnější struktuře v případě poměru 1:15 téměř zdvojnásobili pevnosti na 6,9 MPa v tahu za ohybu, u 1:10 navýšily na 8,8 MPa a u 1:5 dosáhly pevnosti 22,5 MPa. Závěr vyvozený z chování objemových hmotností a pevností v tlaku v závislosti na obsahu podsítných i nadsítných frakcí se tímto potvrzuje.

V další etapě bude nutné použít pěchu pro zhutnění směsi, použití potravinářské fólie pouze na podklad a stěny bude lepší vytrít odbedňovacím olejem pro zajištění ostrých hran zkušebních vzorků. Na základě těchto výsledků plnivo musí obsahovat jemné podíly a může také mít zastoupení v nadsítné frakci v přiměřeném množství.

21. ETAPA X

21.1. Cíl

Výroba polymerbetonových zkušební vzorky. Receptura bude s poměrem pojiva a plniva 1:7,5, 1:10 a 1:12,5. Po konzultaci s firmou Atemit jsou tyto poměry lepšími zástupci reálně používaných poměrů. Plnivo bude obsahovat nadsítý zbytek s 10 % jemných podílů. K hutnění zkušebních vzorků bude použito pění. Forma pro vzorky se vymaže odbedňovacím olejem a potravinová fólie bude pouze mezi spodní částí a zkušebními vzorky s kovovými přepážkami. Vlastnosti polymerů budou sledovány po 24 h, 3 dnech a 7 dnech.

21.2. Postup

1. Navážení pojiva (poměr mísení složky A:B 75:25)
2. Promíchání
3. Přidání přesně naváženého skelného plniva
4. Ruční homogenizace
5. Plnění ocelové formy na zkušební vzorky $20 \times 20 \times 100$ mm s potravinářskou fólií
6. Plnění formy a hutnění s pomocí pění
7. Po 24 h odformování a zjištění objemové hmotnosti
8. Stanovení pevnosti v tahu za ohybu a pevnosti v tlaku

21.2.1. Složení ETAPA X

Tabulka 29 Receptura ETAPA X

Receptura	Látky	Hmotnostní poměr	Hmotnost na 250 g [g]	Hmotnost na 1000 kg [kg]
1-3	Epoxid	1	29,4	117,6
	Sklo	7,5	220,6	882,4
4-6	Epoxid	1	22,7	90,9
	Sklo	10	227,3	909,1
7-9	Epoxid	1	18,5	74,1
	Sklo	12,5	231,5	925,9

Tabulka 30 Plnivo - skelný recyklát ETAPA X

Velikost mlecích těles [mm] (množství)	Zůstatky na sítích (velikost ok sít v mm)				
	2	1	0,5	0,25	0
33 + 50 (30 ks 50)	17%	28%	24%	22%	10%

Pozn. 33+50 (30 ks 50) viz Seznam zkratk

21.3. Použité pomůcky

- Ochranné pomůcky – rukavice, plášť
- Pracovní pomůcky – lopatka, misky, váhy s přesností na 0,01 g, ocelová forma o rozměrech 20 × 20 × 100 mm, stěrka, plastový kelímek, pěn

21.4. Výsledek

Tabulka 31 Rozměry a objemové hmotnosti vzorků s poměrem 1:7,5 (ETAPA X)

Popis	Označení	Ø b [mm]	Ø h [mm]	Ø l [mm]	Hmotnost m [g]	Objemová hmotnost [kg·m ⁻³]	Ø Objemová hmotnost [kg·m ⁻³]
1 1:7,5 24 H	A	19,3	20,0	102,0	73,30	1860	1840
	B	19,3	19,9	101,8	71,50	1820	
	C	19,7	20,1	101,8	73,50	1830	
2 1:7,5 3 D	A	20,4	20,1	100,6	75,39	1830	1840
	B	19,9	20,0	101,9	76,27	1880	
	C	20,5	20,2	101,1	75,76	1810	
3 1:7,5 7 D	A	20,3	20,0	100,4	73,02	1790	1760
	B	20,4	19,7	100,1	72,00	1790	
	C	20,8	20,2	100,2	71,73	1700	

Pozn. popis 1 1:7,5 24 h - {číslo receptury} {poměr mísení} {doba zrání}

Tabulka 32 Vlastnosti polymerbetonových vzorků s poměrem 1:7,5 (ETAPA X)

Popis	Označení	Maximální zatížení F _c [kN]		Pevnost v tlaku R _c [MPa]		Ø Pevnost v tlaku R _c [MPa]	Maximální zatížení F _f [kN]	Pevnost v tahu za ohybu R _f [MPa]	Ø Pevnost v tahu za ohybu R _f [MPa]
1 1:7,5 24 H	A	8,5	8,6	21,3	21,4	19,7	0,8	12,4	13,1
	B	8,1	8,1	20,1	20,1		0,8	11,7	
	C	6,8	7,3	17,0	18,3		1,0	15,1	
2 1:7,5 3 D	A	8*	13,1	20,0*	32,8	35,8	1,4	19,6	21,2
	B	13,6	15,5	34,0	38,8		1,5	21,8	
	C	16,9	12,4	42,3	31,0		1,6	22,2	
3 1:7,5 7 D	A	12,6	20,0	31,5	50,0	42,3	1,3	18,5	17,6
	B	15,2	14,0	38,0	35,0		1,2	17,4	
	C	21,0	18,6	52,5	46,5		1,2	16,9	

Pozn. zatížení 8* vyloučeno z výpočtu průměrné pevnosti v tlaku

Tabulka 33 Rozměry a objemové hmotnosti vzorků s poměrem 1:10 (ETAPA X)

Popis	Označení	Ø b [mm]	Ø h [mm]	Ø l [mm]	Hmotnost m [g]	Objemová hmotnost [kg·m ⁻³]	Ø Objemová hmotnost [kg·m ⁻³]
4 1:10 24 H	A	20,2	20,2	101,3	72,30	1760	1790
	B	20,4	20,0	102,2	75,08	1800	
	C	20,1	20,1	101,6	73,65	1800	
5 1:10 3 D	A	20,8	20,0	102,6	73,52	1720	1760
	B	20,3	20,1	102,4	74,07	1770	
	C	20,6	19,8	102,6	74,54	1780	
6 1:10 7 D	A	19,8	20,2	100,2	70,45	1760	1760
	B	20,1	20,0	100,5	72,13	1780	
	C	19,8	20,1	100,2	69,70	1750	

Pozn. popis 4 1:10 24 h - {číslo receptury} {poměr mísení} {doba zrání}

Tabulka 34 Vlastnosti polymerbetonových vzorků s poměrem 1:10 (ETAPA X)

Popis	Označení	Maximální zatížení F _c [kN]		Pevnost v tlaku R _c [MPa]		Ø Pevnost v tlaku R _c [MPa]	Maximální zatížení F _f [kN]	Pevnost v tahu za ohybu R _f [MPa]	Ø Pevnost v tahu za ohybu R _f [MPa]
4 1:10 24 H	A	6,3	6,9	15,6	17,3	16,8	0,7	9,5	10,6
	B	6,6	7,3	16,4	18,1		0,8	11,0	
	C	7,2	6,1	17,9	15,3		0,8	11,1	
5 1:10 3 D	A	7,0	8,4	17,5	20,9	20,6	1,1	15,8	13,9
	B	8,2	9,9	20,5	24,6		0,9	13,2	
	C	7,5	8,7	18,8	21,6		0,9	12,6	
6 1:10 7 D	A	12,1	12,1	30,1	30,1	32,6	0,8	11,9	13,9
	B	13,2	15,9	32,9	39,6		1,0	14,9	
	C	12,2	13,1	30,4	32,8		1,0	15,1	

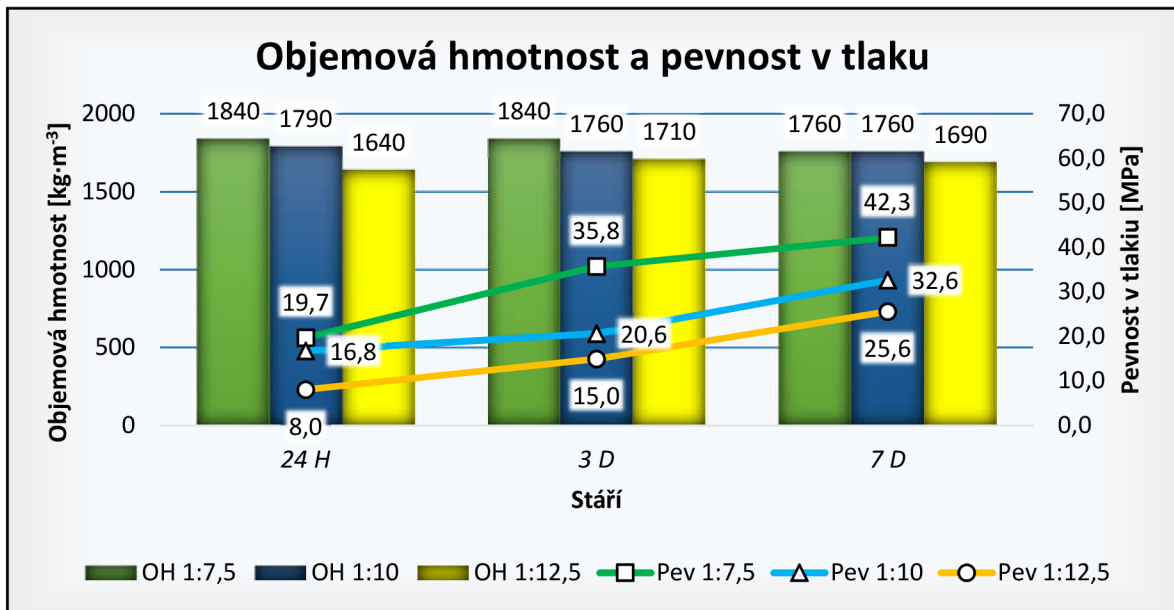
Tabulka 35 Rozměry a objemové hmotnosti vzorků s poměrem 1:12,5 (ETAPA X)

Popis	Označení	Ø b [mm]	Ø h [mm]	Ø l [mm]	Hmotnost m [g]	Objemová hmotnost [kg·m ⁻³]	Ø Objemová hmotnost [kg·m ⁻³]
7 1:12,5 24 H	A	19,9	20,1	102,9	66,90	1630	1640
	B	20,6	20,1	102,8	69,90	1650	
	C	19,9	20,2	102,6	67,30	1640	
8 1:12,5 3 D	A	20,4	20,0	103,1	72,81	1730	1710
	B	20,4	20,2	103,0	71,94	1700	
	C	20,4	20,2	103,0	72,09	1700	
9 1:12,5 7 D	A	19,3	20,0	101,9	67,88	1720	1690
	B	20,3	20,2	101,6	68,23	1640	
	C	19,2	20,1	101,4	66,73	1710	

Pozn. popis 7 1:12,5 24 h - {číslo receptury} {poměr mísení} {doba zrání}

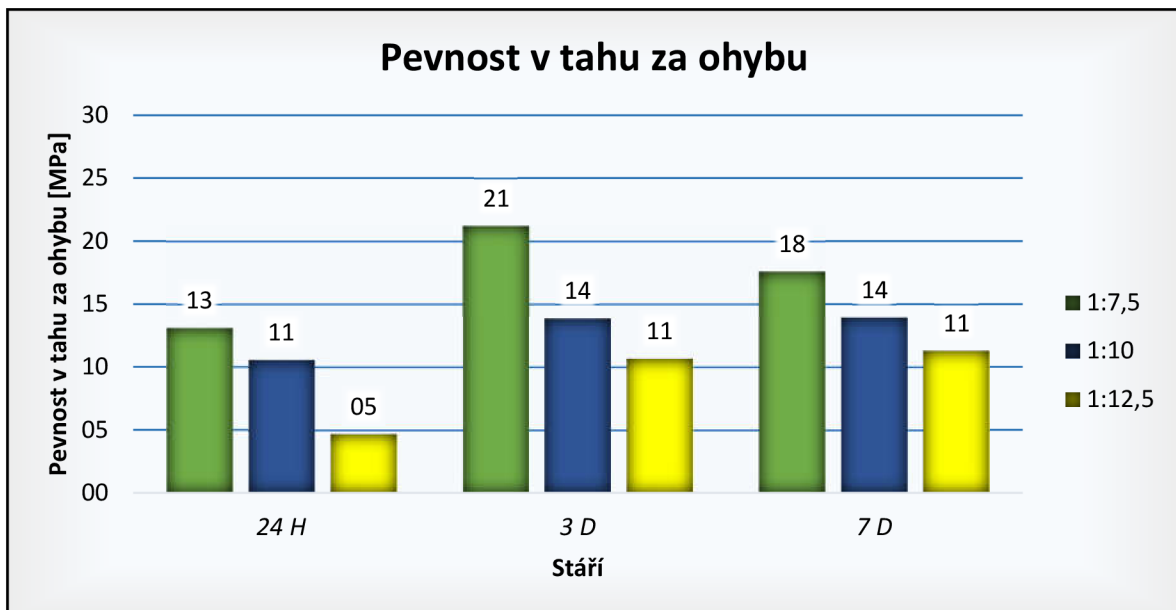
Tabulka 36 Vlastnosti polymerbetonových vzorků s poměrem 1:12,5 (ETAPA X)

Popis	Označení	Maximální zatížení F _c [kN]		Pevnost v tlaku R _c [MPa]		Ø Pevnost v tlaku R _c [MPa]	Maximální zatížení F _f [kN]	Pevnost v tahu za ohybu R _f [MPa]	Ø Pevnost v tahu za ohybu R _f [MPa]
7 1:12,5 24 H	A	3,1	2,9	7,8	7,1	8,0	0,3	4,5	4,7
	B	3,5	3,8	8,8	9,4		0,4	5,8	
	C	3,1	3,1	7,6	7,6		0,3	3,7	
8 1:12,5 3 D	A	6,1	5,2	15,1	13,0	15,0	0,8	11,1	10,7
	B	6,5	5,8	16,1	14,4		0,7	10,1	
	C	5,9	6,6	14,6	16,5		0,8	10,8	
9 1:12,5 7 D	A	10,6	10,6	26,5	26,5	25,6	0,8	11,6	11,3
	B	11,0	9,4	27,5	23,5		0,9	12,3	
	C	11,2	8,6	28,0	21,5		0,7	10,1	



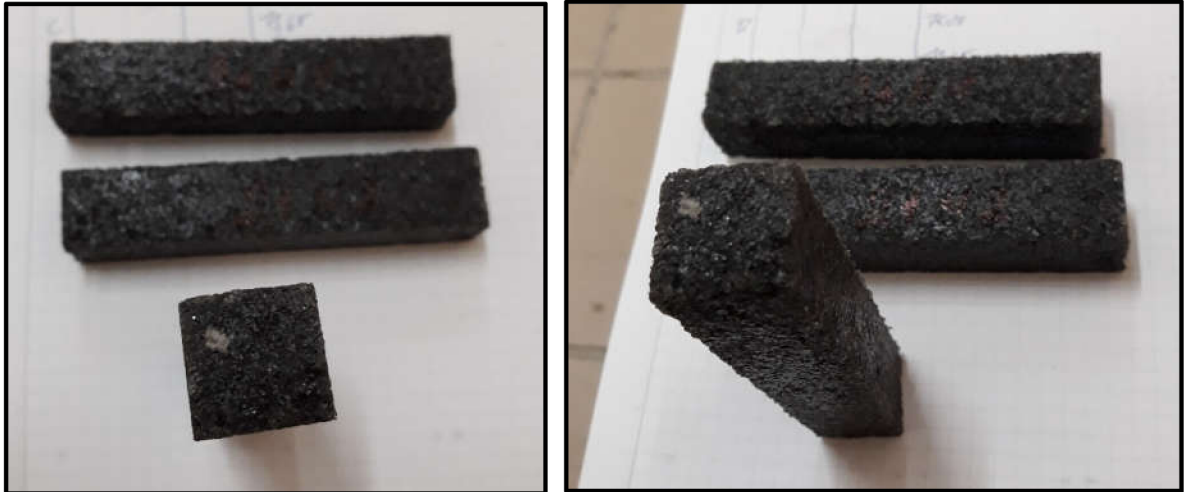
Graf 19 Objemová hmotnost a pevnost v tlaku polymerbetonových vzorků po 24 h, 3 a 7 dnech při různých poměrech plniva a pojiva ETAPA X

Pozn. 1:15 – míšící poměr epoxid:plnivo



Graf 20 Pevnost v tahu za ohybu polymerbetonových vzorků po 24 h, 3 a 7 dnech při různých poměrech plniva a pojiva ETAPA X

Pozn. 1:15 – míšící poměr epoxid:plnivo



Obrázek 21 Polymerbetonové vzorky s obsahem recyklovaného autoskla ETAPA X (autor)

21.5. Diskuse výsledků ETAPY X

Etapa X si vzala za cíl výrobu polymerbetonových zkušebních vzorků rozměrů $20 \times 20 \times 100$ mm s upraveným poměrem pojiva k plnivu na 1:7,5, 1:10 a 1:12,5. Poměr 1:7,5 je ekonomičtější variantou 1:5 a 1:12,5 zajišťuje lepší vlastnosti oproti 1:15 a přesto je stále neekonomičtější variantou, co se týče do spotřeby epoxidu.

Na základě etapy IX plnivo měl obsah nadsítné frakce, která vznikla při mletí autoskla. Současně recyklované autosklo obsahovalo 10 % z celkové hmotnosti plniva jemných částí pod $< 0,25$ mm. Celková křivka zrnitosti použitého skla byla 17 % nadsítné frakce > 2 mm, 28 % frakce 1-2 mm, 24 % 0,5-1 mm, 22 % 0,25-0,5 mm a 10 % $< 0,25$ mm. Hutnění zkušebních vzorky bylo provedeno s pomocí dřevěného pěchu pro zajištění vyšší hutnosti. Potravinová fólie zajišťovala pouze separaci od podkladní části formy, bočnice a povrch formy byl natřen odbedňovacím olejem. Veškeré vlastnosti byly stanoveny po 24 hodinách, 3 dnech a 7 dnech.

Zkušební vzorky s poměrem plniva pojiva 1:12,5 měly nízké objemové hmotnosti v rozmezí $1640-1710 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Pravděpodobně tyto vzorky, které se chovají spíše jako lehce vlhký písek, mají na povrchu zrn tak málo epoxidu, že po sobě velmi málo kloužou a ani rázné hutnění nestačí k vytvoření kompaktní struktury. Dále dle pozorování objemových hmotností ostatních vzorků s vyššími podíly pojiva epoxid hraje význačnou roli ve zvyšování objemové hmotnosti. Poměr 1:10 zajistil hodnoty objemové hmotnosti $1760-1790 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ tedy mírné kolísání. Daný poměr pravděpodobně dostatečně zajišťuje zvýšení viskozity čerstvého

polymerbetonu za nepřilíšného zvýšení lepivosti, které značně znesnadňuje hutnění. Poměr 1:7,5 s vysokým přídávkem epoxidu má hodnoty v rozmezí 1760-1840 kg·m⁻³. S největší pravděpodobností směs je sice méně lepivá než v předchozí etapě u poměru 1:5, přesto je riziko snížení objemové hmotnosti v důsledku vyšší lepivosti materiálu. Je možné vyvodit závěr, že optimální mísicí poměr je 1:10. Vyšší poměr mísení snižuje viskozitu materiálu a zhoršuje zpracovatelnost i zhutnitelnost, přestože je velmi ekonomický. Na opačné straně nižší poměr způsobuje značné zvýšení viskozity směsi za současného růstu lepivosti, která taktéž zhoršuje zpracovatelnost.

Pevnosti v tlaku, úzce svázané s objemovými hmotnostmi, korelují s touto hodnotou. Poměr 1:7,5 s objemovou hmotností 1760-1840 kg·m⁻³ zajistil nárůst pevností po 24 h z 19,7 MPa na 35,8 MPa po 3 dnech až na 42,3 MPa po 7 dnech, kdy je z velké části dokončena polymerace struktury epoxidu a další nárůsty pevností jsou již mizivé. Při 1:10 pevnosti v tlaku rostly od 16,8 MPa přes 20,6 MPa až po 32,6 MPa. Nejnižších hodnot bylo dosaženo s poměrem 1:12,5 a to 8 MPa po 24 h, 15 MPa po 3 dnech a 25,6 MPa po 7 dnech. Epoxid výrazně ovlivňuje pevnosti v tlaku, vyšší dávka zajišťuje vyšší výsledné pevnosti.

Pevnost v tahu za ohybu výrazně závisí na dávce epoxidového pojiva. Vzorek s poměrem 1:7,5 dosáhl nejvyšší pevnosti v tahu. Po 24 h byla 13,1 MPa, po 3 dnech 21,2 MPa, po 7 dnech byl pokles na 17,6 MPa, pravděpodobně v důsledku poklesu objemové hmotnosti. Tento pokles značí na chybu při hutnění nebo homogenizace a nedostatečného smíchání epoxidu se skelným plnivem. Vzorek s poměrem 1:10 dosáhl pevnosti 10,6 MPa po 24 h, po 3 dnech 13,9 MPa a tuto hodnotu měl i po 7 dnech. Vzorek s poměrem 1:12,5 po 24 h dosáhl na pevnost 4,7 MPa, po 3 dnech 10,7 a po 7 dnech 11,3 MPa. Pevnost v tahu za ohybu po 3 dnech již nemá výraznou tendenci růst. Pokud je zajištěna kvalitní homogenizace s hutněním, které zajistí objemovou hmotnost bez velkých výkyvů, pak při dávce 1:7,5 budou velmi vysoké hodnoty pevnosti v tahu za ohybu a s klesáním dávky epoxidu budou rovněž hodnoty pevnosti klesat.

V další etapě bude nutné vytvořit referenční vzorky s písky a porovnat jejich vlastnosti s použitím skelného recyklátu. Bude nutné použít stejnou metodu bednění, hutnění i míchání pro zajištění stejných parametrů výroby.

22. ETAPA XI

22.1. Cíl

Výroba referenčních polymerbetonů s křemičitými písky používanými firmou Atemit. Porovnání vlastností polymerbetonů s obsahem recyklovaného autoskla s polymerbetony s křemičitými písky. Stanovení sypné hmotnosti volně sypaného písku i skla a v setřeseném stavu. Určení mezerovitosti, měrné hmotnosti a porovnání recyklovaného skla s referenčními písky. Nakonec porovnání polymerbetonů z křemičitých písků a z mletého skla z pohledu barvy.

22.2. Postup

22.2.1. Polymerbetonové zkušební vzorky

1. Navážení pojiva (poměr mísení složky A:B 75:25)
2. Promíchání
3. Přidání přesně naváženého skelného plniva
4. Ruční homogenizace
5. Plnění ocelové formy na zkušební vzorky $20 \times 20 \times 100$ mm s potravinářskou fólií
6. Plnění formy a hutnění s pomocí pěchu
7. Po 24 h odformování a zjištění objemové hmotnosti
8. Stanovení pevnosti v tahu za ohybu a pevnosti v tlaku

22.2.2. Mezerovitost

1. Zvážení válcové nádoby o přesně známém objemu
2. Naplnění válcové nádoby volně sypaným materiálem
3. Zarovnání povrchu materiálu se stěnami nádoby
4. Zvážení

5. Znovu plnění nádoby sypkým materiálem na vibračním stole
6. Zarovnání povrchu materiálu se stěnami nádoby
7. Zvážení
8. Stanovení sypané hmotnosti volně sypaného materiálu i v setřeseném stavu a mezerovitosti

22.2.3. Pyknometrická zkouška

1. Zvážení prázdného pyknometru
2. Zvážení pyknometru s navážkou měřeného materiálu
3. Naplnění pyknometru s navážkou vodou
4. Zvážení pyknometru s navážkou a vodou
5. Stanovení měrné hmotnosti materiálu

22.2.4. Složení ETAPA XI

Tabulka 37 Receptura ETAPA XI

Označení receptury	Látky	Hmotnostní poměr	Hmotnost na 250 g [g]	Hmotnost na 1000 kg [kg]
1-3	Epoxid	1	29,4	117,6
	Písky	7,5	220,6	882,4
4-6	Epoxid	1	22,7	90,9
	Písky	10	227,3	909,1
7-9	Epoxid	1	18,5	74,1
	Písky	12,5	231,5	925,9

22.3. Použité pomůcky

- Ochranné pomůcky – rukavice, plášť
- Pracovní pomůcky – lopatka, misky, váhy s přesností na 0,01 a 0,0001 g, ocelová forma o rozměrech 20 × 20 × 100 mm, stěrka, plastový kelímek, pých, pyknometry, válec o přesně známém objemu na stanovení sypané hmotnosti

22.4. Výsledek

22.4.1. Polymerbetonové zkušební vzorky

Tabulka 38 Rozměry a objemové hmotnosti vzorků s poměrem 1:7,5 (ETAPA XI)

Popis	Označení	Ø b [mm]	Ø h [mm]	Ø l [mm]	Hmotnost m [g]	Objemová hmotnost [kg·m ⁻³]	Ø Objemová hmotnost [kg·m ⁻³]
1 1:7,5 24 H	A	20,2	20,1	101,2	79,28	1930	1930
	B	20,2	20,0	101,0	79,03	1940	
	C	20,1	19,9	101,6	77,80	1910	
2 1:7,5 3 D	A	20,1	19,8	101,2	77,50	1930	1940
	B	19,8	20,1	101,4	78,41	1930	
	C	20,2	20,2	101,5	80,74	1950	
3 1:7,5 7 D	A	19,9	20,1	101,4	80,26	1980	1990
	B	19,4	20,2	100,8	79,15	2010	
	C	19,4	20,2	101,5	79,08	1980	

Pozn. popis 1 1:7,5 24 h - {číslo receptury} {poměr mísení} {doba zrání}

Tabulka 39 Vlastnosti polymerbetonových vzorků s poměrem 1:7,5 (ETAPA XI)

Popis	Označení	Maximální zatížení F _c [kN]		Pevnost v tlaku R _c [MPa]		Ø Pevnost v tlaku R _c [MPa]	Maximální zatížení F _f [kN]	Pevnost v tahu za ohybu R _f [MPa]	Ø Pevnost v tahu za ohybu R _f [MPa]
1 1:7,5 24 H	A	8,3	8,6	20,8	21,5	21,3	0,6	8,8	8,7
	B	8,8	8,6	22,0	21,5		0,6	8,9	
	C	8,3	8,4	20,8	21,0		0,6	8,3	
2 1:7,5 3 D	A	18,9	17,0	47,3	42,5	46,5	1,4	20,6	22,8
	B	17,2	19,5	43,0	48,8		1,5	21,6	
	C	20,0	19,3	50,0	48,3		1,8	26,2	
3 1:7,5 7 D	A	22,9	26,2	57,3	65,5	59,9	1,7	24,8	28,7
	B	24,0	22,6	60,0	56,5		2,1	31,9	
	C	24,4	23,6	61,0	59,0		2,0	29,4	

Tabulka 40 Rozměry a objemové hmotnosti vzorků s poměrem 1:10 (ETAPA XI)

Popis	Označení	Ø b [mm]	Ø h [mm]	Ø l [mm]	Hmotnost m [g]	Objemová hmotnost [kg·m ⁻³]	Ø Objemová hmotnost [kg·m ⁻³]
4 1:10 24 H	A	20,0	19,9	101,3	80,73	2000	1980
	B	20,2	20,1	101,3	81,20	1980	
	C	20,4	20,1	101,3	81,39	1970	
5 1:10 3 D	A	20,5	20,0	100,3	77,50	1880	1870
	B	20,6	20,1	100,6	77,14	1850	
	C	20,5	20,0	100,7	77,10	1870	
6 1:10 7 D	A	20,4	20,0	100,9	77,66	1890	1910
	B	20,6	20,0	100,7	79,17	1910	
	C	20,3	20,1	100,6	79,26	1930	

Pozn. popis 4 1:10 24 h - {číslo receptury} {poměr mísení} {doba zrání}

Tabulka 41 Vlastnosti polymerbetonových vzorků s poměrem 1:10 (ETAPA XI)

Popis	Označení	Maximální zatížení F _c [kN]		Pevnost v tlaku R _c [MPa]		Ø Pevnost v tlaku R _c [MPa]	Maximální zatížení F _f [kN]	Pevnost v tahu za ohybu R _f [MPa]	Ø Pevnost v tahu za ohybu R _f [MPa]
4 1:10 24 H	A	13,5	14,2	33,8	35,5	36,1	1,3	19,0	18,6
	B	15,1	14,6	37,8	36,5		1,3	18,4	
	C	16,3	13,0	40,8	32,5		1,3	18,3	
5 1:10 3 D	A	14,6	14,7	36,5	36,8	34,6	1,4	19,7	18,7
	B	13,4	13,5	33,5	33,8		1,3	18,1	
	C	13,4	13,4	33,5	33,5		1,3	18,3	
6 1:10 7 D	A	18,6	19,1	46,5	47,8	44,6	1,4	19,8	20,3
	B	18,3	16,8	45,8	42,0		1,4	19,7	
	C	16,4	17,9	41,0	44,8		1,5	21,2	

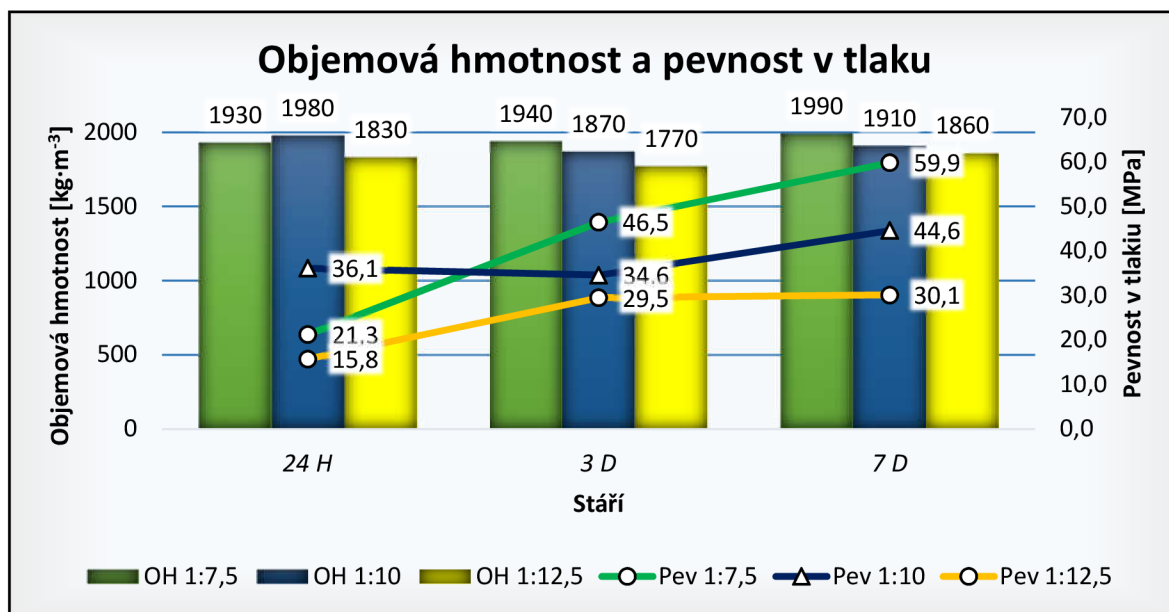
Tabulka 42 Rozměry a objemové hmotnosti vzorků s poměrem 1:12,5 (ETAPA XI)

Popis	Označení	Ø b [mm]	Ø h [mm]	Ø l [mm]	Hmotnost m [g]	Objemová hmotnost [kg·m ⁻³]	Ø Objemová hmotnost [kg·m ⁻³]
7 1:12,5 24 H	A	20,6	20,1	100,8	76,37	1840	1830
	B	20,3	20,1	101,1	75,12	1830	
	C	20,1	20,1	101,0	74,63	1820	
8 1:12,5 3 D	A	20,9	20,1	101,6	74,57	1750	1770
	B	20,8	20,4	101,4	74,30	1730	
	C	20,4	20,2	101,4	76,09	1820	
9 1:12,5 7 D	A	19,9	20,2	100,2	74,17	1840	1860
	B	20,7	20,2	100,3	77,87	1860	
	C	20,1	20,1	100,3	75,60	1870	

Pozn. popis 7 1:12,5 24 h - {číslo receptury} {poměr mísení} {doba zrání}

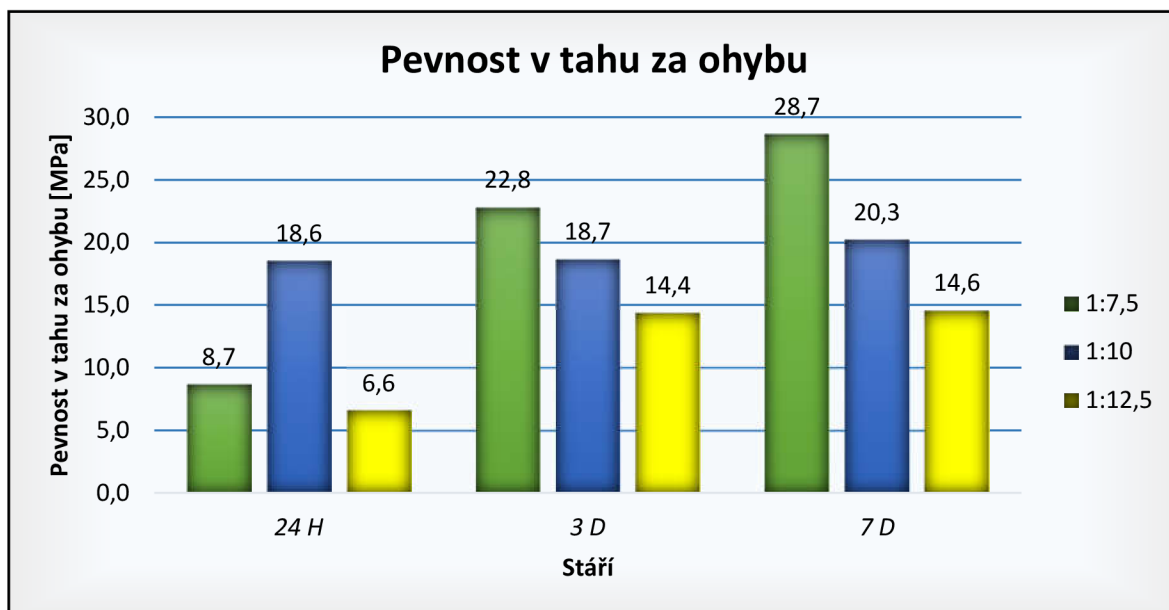
Tabulka 43 Vlastnosti polymerbetonových vzorků s poměrem 1:12,5 (ETAPA XI)

Popis	Označení	Maximální zatížení F _c [kN]		Pevnost v tlaku R _c [MPa]		Ø Pevnost v tlaku R _c [MPa]	Maximální zatížení F _f [kN]	Pevnost v tahu za ohybu R _f [MPa]	Ø Pevnost v tahu za ohybu R _f [MPa]
7 1:12,5 24 H	A	6,7	6,0	16,8	15,0	15,8	0,5	7,3	6,6
	B	6,3	5,7	15,8	14,3		0,4	5,9	
	C	7,4	5,7	18,5	14,3		0,5	6,6	
8 1:12,5 3 D	A	12,4	12,3	31,0	30,8	29,5	1,1	14,9	14,4
	B	11,8	11,6	29,5	29,0		1,0	13,9	
	C	11,4	11,3	28,5	28,3		1,0	14,4	
9 1:12,5 7 D	A	11,6	12,3	29,0	30,8	30,1	1,0	14,0	14,6
	B	11,4	11,5	28,5	28,8		1,1	14,9	
	C	12,2	13,3	30,5	33,3		1,0	14,8	



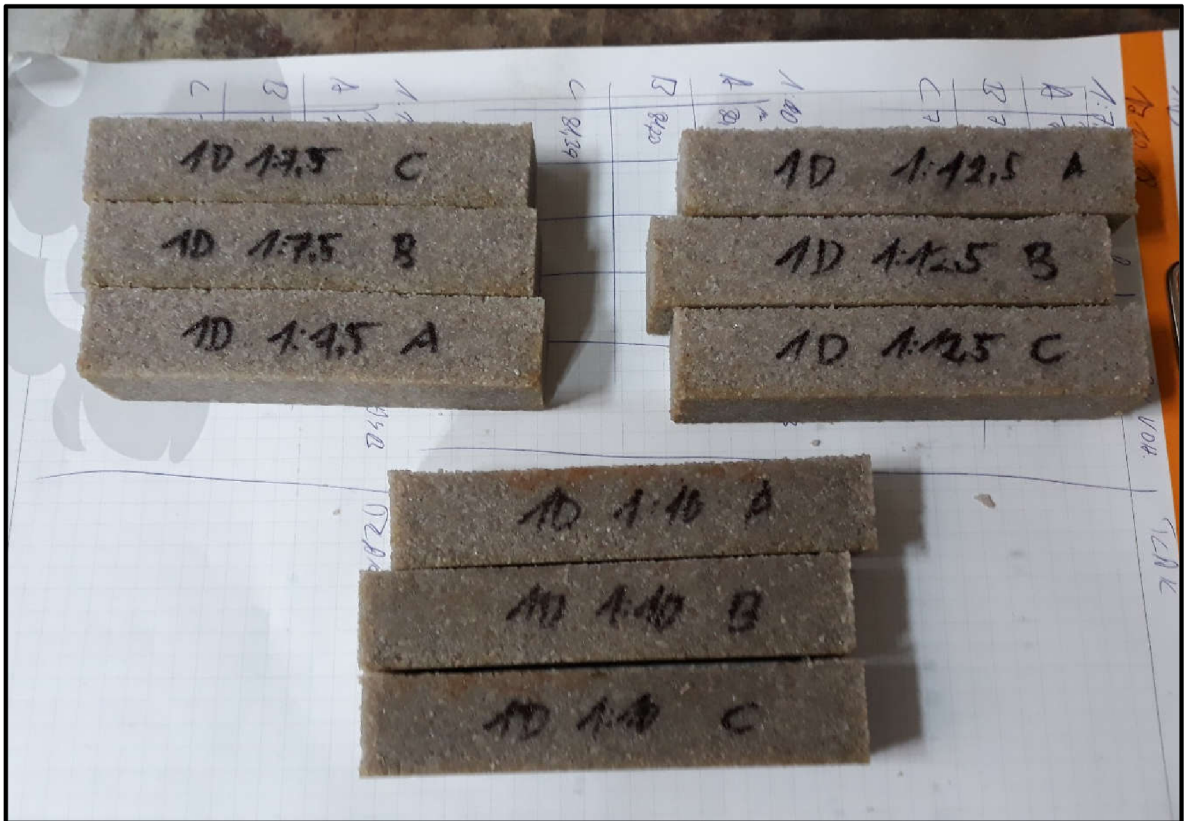
Graf 21 Objemová hmotnost a pevnost v tlaku polymerbetonových vzorků po 24 h, 3 a 7 dnech ETAPA XI

Pozn. 1:7,5 – poměr mísení epoxid:plnivo



Graf 22 Pevnost v tahu za ohybu polymerbetonových vzorků po 24 h, 3 a 7 dnech ETAPA XI

Pozn. 1:7,5 – poměr mísení epoxid:plnivo



Obrázek 22 Polymerbetonové zkušební vzorky s křemičitým pískem ETAPA XI (autor)

22.4.2. Objemová hmotnost

Tabulka 44 Stanovení objemové hmotnosti pyknometrickou zkouškou

Označení	Hmotnost [g]				Objemová hmotnost [kg·m ⁻³]	Ø Objemová hmotnost [kg·m ⁻³]
	Prázdný pyknometr	Pyknometr se vzorkem m _e	Pyknometr s navázkou a vodou m ₁	Pyknometr s vodou m ₂		
Skelný recyklát	23,9433	33,6920	80,0352	74,1878	2510	2520
	25,5402	36,7065	82,3643	75,6360	2530	
	23,7048	35,2459	81,3374	74,4066	2510	
Referenční písky	25,3697	37,7264	82,9844	75,3159	2650	2650
	24,6737	37,9144	84,1508	75,9290	2650	
	25,1069	42,7267	86,6557	75,7098	2650	

Pozn. Oba vzorky kameniva byly považovány za 100 % nenasákové (hmotnost nasáklého vzorku = hmotnosti vysušeného vzorku)

22.4.3. Sypná hmotnost a mezerovitost

Tabulka 45 Sypná hmotnost a mezerovitost skelného recyklátu a referenčního písku

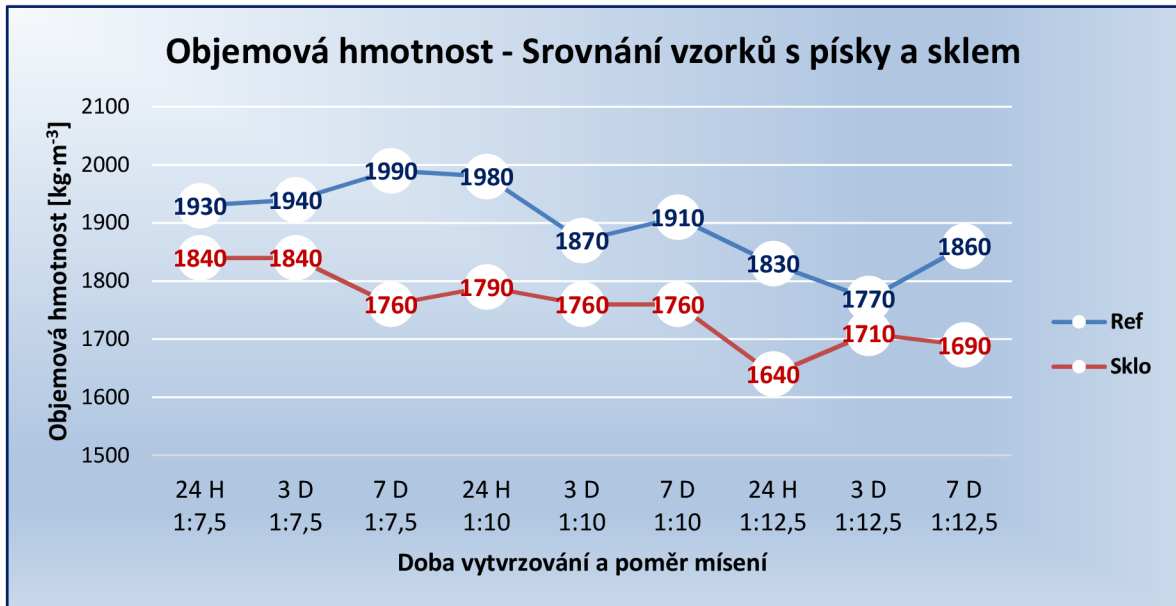
Označení	Objem nádoby [dm ³]	Hmotnost		Sypná hmotnost		Objemová hmotnost [kg·m ⁻³]	Mezerovitost	
		Volně sypané [kg]	V setřeseném stavu [kg]	Volně sypané [kg·m ⁻³]	V setřeseném stavu [kg·m ⁻³]		Volně sypané	V setřeseném stavu
Skelný recyklát	0,997	1,32	1,57	1320	1570	2520	48%	38%
Písek		1,56	1,74	1560	1750	2650	41%	34%



Obrázek 23 Pyknometrické stanovení objemové hmotnosti (vlevo), stanovení sypné hmotnosti a mezerovitosti (vpravo) (autor)

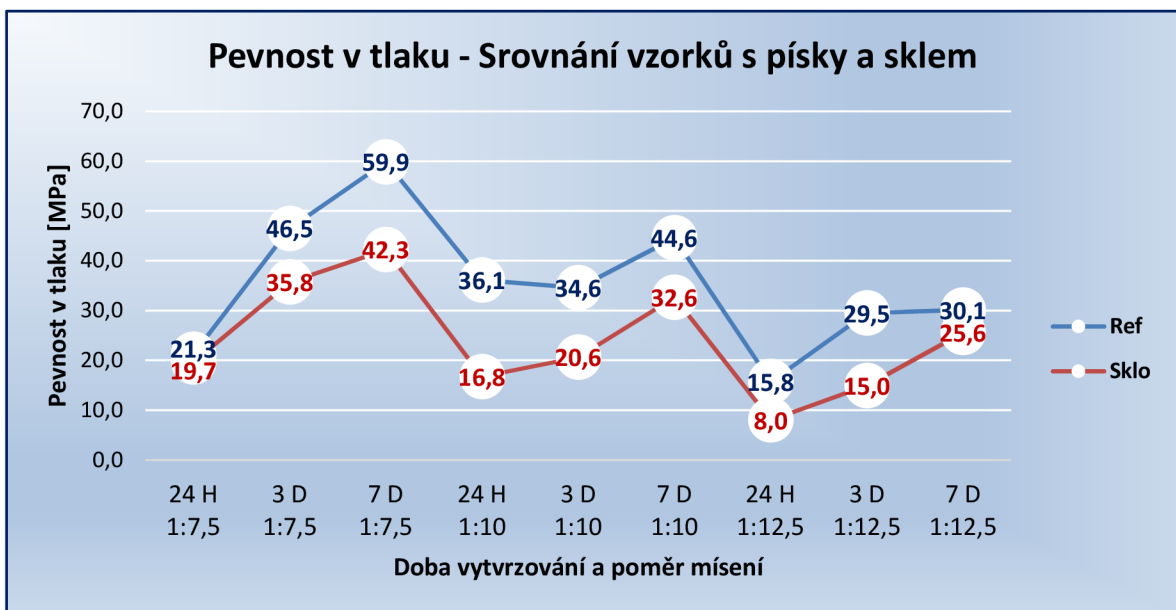
Pozn. Pyknometrické vážení bylo stanoveno na 3 materiálech, 3. materiál byl vyloučen pro přítomnost velkého množství nečistot

22.4.4. Srovnání polymerbetonů s použitím referenčních písků a skelného recyklátu



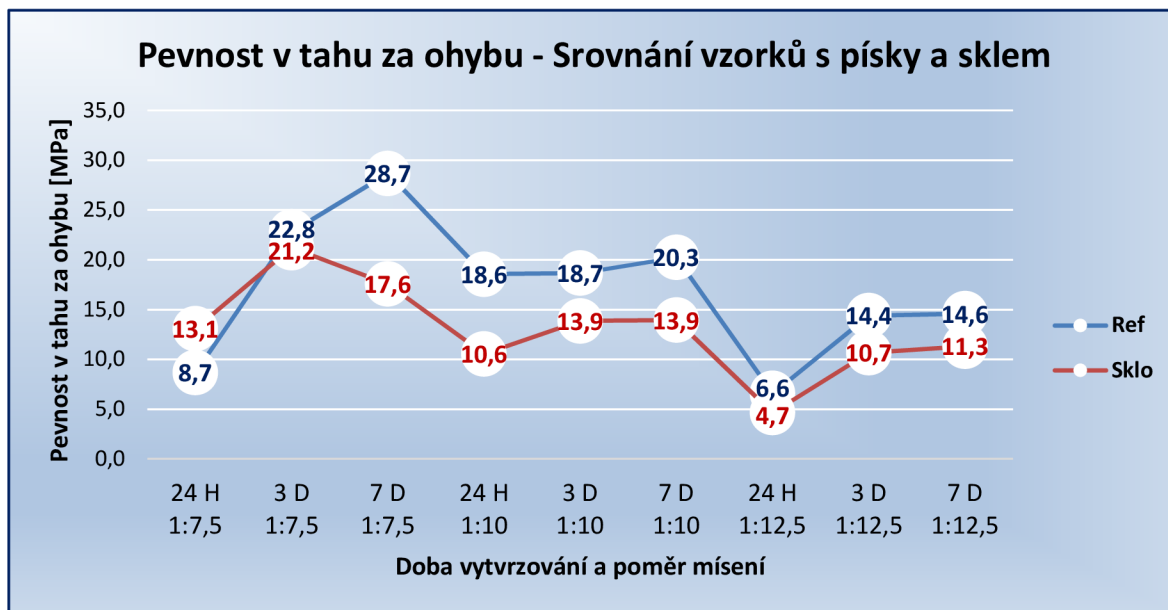
Graf 23 Objemová hmotnost – Srovnání polymerbetonů s použitím referenčních písků a skelného recyklátu

Pozn. Ref – polymerbeton s písky
 1:7,5 – poměr mísení epoxid:plnivo



Graf 24 Pevnost v tlaku – Srovnání polymerbetonů s použitím referenčních písků a skelného recyklátu

Pozn. Ref – polymerbeton s písky
 1:7,5 – poměr mísení epoxid:plnivo



Graf 25 Pevnost v tahu za ohybu – Srovnání polymerbetonů s použitím referenčních písků a skelného recyklátu

Pozn. Ref – polymerbeton s písky
 1:7,5 – poměr mísení epoxid:plnivo



Obrázek 24 Porovnání barvy polymerbetonů z křemičitých písků (vlevo) a mletého skla (vpravo) (autor)

22.5. Diskuse výsledků ETAPY XI

Podle nadefinovaných cílů v této etapě bylo provedeno stanovení sypaných hmotností a následné mezerovitosti používaných plniv recyklovaného autoskla a referenčních písků. Skelný recyklát po provedení měření dosáhl hodnoty sypané hmotnosti volně sypané navážky $1320 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ a v setřeseném stavu zaujal hodnotu $1570 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Pyknometrickým vážením se určila objemová hmotnost skelného recyklátu na $2520 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Sklo obecně dosahuje hodnot hustoty $2400\text{-}2800 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, stanovená hodnota $2520 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ spadá do rozmezí. Ze sypaných hmotností se vypočetly výše mezerovitostí volně sypaného skla na 48 % a v setřeseném stavu na 38 %. Referenční křemičité písky odpovídají hodnotám sypaných hmotností volně sypaného písku $1560 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ a v setřeseném stavu $1750 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Objemová hmotnost $2650 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, která je blízká hodnotě křemene s hustotou $2600 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Mezerovitost vypadá u referenčních písků následovně, 41 % u volně sypaných a 34 % v setřeseném stavu. Z toho můžeme usuzovat na prostor s možností úprav křivky zrnitosti recyklovaných písků, jelikož mezerovitost v setřeseném stavu u recyklovaného skla je o 4 % vyšší než u křemičitých písků. Tento rozdíl poukazuje na nevyužitý potenciál tlakové pevnosti polymerbetonů ze skelného recyklátu. [24]

Referenční vzorky polymerbetonů s křemičitými písky byly vytvořeny stejně jako u vzorků se skelným recyklátem. Tři sady vzorků byly s poměry pojiva a plniva 1:7,5; 1:10 a 1:12,5. Objemové hmotnosti při poměru 1:7,5 dosáhly hodnot v rozmezí $1930\text{-}1990 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Takto úzké rozmezí objemových hmotností perfektně ukazuje nárůst pevností v tlaku. Po 24 h byly pevnosti 21,3 MPa, po 3 dnech vzrostly na 46,5 MPa a k 7. dni narostly až na 59,9 MPa. U poměru 1:10 objemové hmotnosti kolísali od $1870\text{-}1980 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, přičemž u prvního 24 h vzorku byla objemová hmotnost nejvyšší celých $1980 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ a vzorek zkoušený po 3 dnech měl nejnižší hodnotu na $1870 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Z tohoto důvodu pevnost v tlaku po 24 h dosáhla 36,21 MPa a u třídního vzorku zdánlivě klesla na 34,6 MPa. Tímto stavem věci je prokázáno, jak vysoce objemová hmotnost souvisí s pevností v tlaku. Místo téměř dvojnásobného nárůstu pevnosti po 3 dnech byl zaznamenán pokles o 2 MPa z důvodu nižší hodnoty objemové hmotnosti o $110 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Po 7 dnech již pevnost vzrostla na 44,6 MPa. Nejnižších hodnot pevností i objemových hmotností bylo u vzorků s poměrem plniva a pojiva 1:12,5. Tato velmi suchá směs se špatně zhutňuje, pravděpodobně tento faktor zavinil hodnoty objemových hmotností v rozmezí $1770\text{-}1860 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Zde ani jedna hodnota nedosáhla hranice $1900 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Objemovým hmotnostem odpovídají pevnosti v tlaku, po 24 h byly

15,8 MPa, po 3 dnech 29,5 MPa a po 7 dnech se navýšily na pouhých 30,1 MPa. Zde pro změnu pravděpodobně zasáhla skutečnost nízké dávky pojiva. Při menším množství epoxidu a stejných ztrátách při homogenizaci složek A, B a jejich následujícím přelití do písku, jsou procentuální ztráty značně vysoké vzhledem k již zmíněné nižší dávce. S tím je provázaná chyba vznikající při nedostatečné homogenizaci. Malé množství epoxidu se špatně rovnoměrně smíchává s plnivem. Na základě dat je možné vyvodit závěr, že nižší poměr pojiva a plniva než 1:7,5 způsobuje značné zhoršení homogenizace a hutnění polymerbetonů. Tento obtížný stav by mohla vyřešit mechanizace a technika, která zajišťuje naprosto stejné podmínky homogenizace i hutnění.

Pevnost v tahu za ohybu byla taktéž značně dotčena hodnotami objemových hmotností. Při poměru 1:7,5 rostly pevnosti od 8,7 MPa přes 22,8 MPa až na 28,7 MPa po 24 h, 3 a 7 dnech. Obdobně jako u pevností v tlaku zaznamenává růst pevností v tahu za ohybu mezi 24 h a 3 dny stagnaci. Hodnoty byly 18,6 MPa a 18,7 MPa, takřka stejné. Po 7 dnech byl nárůst zřetelnější na 20,3 MPa. Vzorky s poměrem pojiva, plniva 1:12,5 jen potvrzují předchozí tvrzení o provázanosti objemových hmotností a schopnosti hutnění. Pevnosti sice vzrostly z 24 h 6,6 MPa na 14,4 MPa po 3 dnech, přesto je i zde výrazná stagnace po 7 dnech s 14,6 MPa, jako v případě pevností v tlaku.

Závěrem byl stanoven cíl porovnání polymerbetonových zkušebních vzorků referenčních s křemičitými písky a zkoumané vzorky s obsahem skelného recyklátu. Byly porovnány výsledky z ETAPY XI a XII. Na grafu objemových hmotností je patrné, že v žádném bodě nebyly hodnoty referenčních a skelných vzorků stejné a ani polymerbetonové zkušební vzorky se sklem nepředčily referenční vzorky. Nejnižší rozdíl hodnot činil $60 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ a největší $260 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Rozdílnost s největší pravděpodobností zapříčinila křivka zrnitosti, dávka epoxidu byla v každém bodě se stejným poměrem pojiva ku plivu. Potvrzuje se předpoklad z výsledků mezerovitosti a sypaných hmotností. Použití recyklovaného skla bez výrazného zásahu do křivky zrnitosti nebo změny mlecích zařízení, způsobí vyšší mezerovitosti a nižší hutnost výsledné směsi.

V případě pevností v tlaku je rozdíl u vzorků s obsahem písků a skla stejně patrný. Jak již naznačovaly objemové hmotnosti, pevnosti v tlaku jen dokazují úzkou souvislost těchto dvou parametrů. Ani v jednom bodě nebyla křivka pevností referenčních vzorků předčena zkušebními vzorky s obsahem mletého autoskla. Rozdíl hodnot se pohybuje

v rozmezí 1,6-19,4 MPa. Jak vidno v případě dávky epoxidu 1:7,5, tak i přes rozdíl objemových hmotností retenčních a skelných vzorků $90 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, je rozdíl pevností v tlaku nejnižší. To značí a potvrzuje domněnku o vlivu a možnosti úpravy křivky zrnitosti pro zlepšení vlastností. Tato práce je zaměřená na úpravu autoskla, proto potvrzovací měření nebylo provedeno a dává prostor pro další výzkum.

Srovnání pevností v tahu za ohybu vykazuje stejné chování, jako tomu bylo u pevností v tlaku i objemových hmotností. Rozdíl pevností se pohyboval v rozmezí 1,6-11,1 MPa. Až na první vzorky byly hodnoty referenčních vzorků vyšší. Pouze při dávce 1:7,5 pojiva na plnivo po 24 h předčil skelný recyklát referenční vzorek o 4,4 MPa v tahu za ohybu. Objemová hmotnost v tomto bodě odpovídá hodnotě $1840 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Dále po 3 dnech byl rozdíl nejnižší z celé pozorované křivky srovnání a činil 1,6 MPa. Přestože v tomto druhém bodě již předčil referenční vzorek, vzorek s obsahem skla je velmi blízko. V obou bodech po 24 h i 3 dnech byl téměř konstantní rozdíl objemových hmotností a to $90\text{-}100 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Teoreticky lze říci, při úpravě křivky zrnitosti skelného recyklátu je možné dosáhnout lepších vlastností oproti křemičitým pískům. Tento jev by bylo zajímavé potvrdit, ovšem to bude ponecháno jako možný námět pro další práce.

Výsledky srovnání lze shrnout těmito slovy. Přestože se nepodařilo prokázat zlepšení vlastností polymerbetonů při použití recyklovaného skla, tak není možné tuto možnost vyvrátit. Naskytly se situace, které naznačují skrytý potenciál ve skelném recyklátu v případě vyladění křivky zrnitosti na úroveň používaných křemičitých písků. Ačkoliv je možné takto vyrobené mleté sklo používat s epoxidy, bylo by vhodné buď zaměnit technologii mletí skla kulovým mlýnem za tradičněji používanou technologii válcového mlýnu, nebo jiných kontinuálních zařízení. Případně tříditi mleté sklo na frakce a vytvářeti si vlastní směsi. Efektivnější možnost je nastavení zdrobňovacího procesu na přímou výrobu suroviny požadovaných parametrů a míchání frakcí použít až jako poslední možnost. V případě míchání směsi z různých frakcí, hrozí riziko nevyužití určitých frakcí skla bez dalšího využití.

Na obrázku 23 je možné porovnat odlišnost v barevnosti jednotlivých polymerbetonů. S obsahem křemičitých písků se zbarvují více do žluta. Mleté sklo dává barvu zelenomodrou v případě malé dávky epoxidu. S rostoucím množstvím pryskyřice roste tmavá barva až do úplné černé.

V rámci předposlední etapy bude nutné ověřit chování polymerbetonů na větších, standardně používaných zkušebních vzorců, 40 × 40 × 160 mm.

23. ETAPA XII

23.1. Cíl

Výroba referenčních polymerbetonových zkušebních vzorků s písky stejné receptury jako v etapě XI o rozměrech 40 × 40 × 160 mm (ref 2, dle ČSN EN 13892-2). Porovnání s referenčními vzorky s písky o rozměrech 20 × 20 × 100 mm (ref 1) z etapy XI. Poměry pojiva plniva 1:7,5; 1:10 a 1:12,5. Vlastnosti po 24 h, 3 a 7 dnech. Předpoklad vlastností polymerbetonů s recyklovaným sklem o rozměrech 40 × 40 × 160 mm.

23.2. Postup

23.2.1. Polymerbetonové zkušební vzorky

1. Navážení pojiva (poměr mísení složky A:B 75:25)
2. Promíchání
3. Přidání přesně naváženého skelného plniva
4. Ruční homogenizace
5. Plnění ocelové formy na zkušební vzorky $40 \times 40 \times 160$ mm s potravinářskou fólií
6. Plnění formy a hutnění s pomocí pěchu
7. Po 24 h odformování a zjištění objemové hmotnosti
8. Stanovení pevnosti v tahu za ohybu a pevnosti v tlaku

23.2.2. Složení

Tabulka 46 Receptura ETAPA XII

Receptura	Látky	Hmotnostní poměr	Hmotnost na 1,6 kg [g]	Hmotnost na 1000 kg [kg]
1-3	Epoxid	1	188,2	117,6
	Písky	7,5	1411,8	882,4
4-6	Epoxid	1	145,5	90,9
	Písky	10	1454,5	909,1
7-9	Epoxid	1	118,5	74,1
	Písky	12,5	1481,5	925,9

23.3. Použité pomůcky

- Ochranné pomůcky – rukavice, plášť
- Pracovní pomůcky – lopatka, misky, váhy s přesností na 0,01 g, ocelová forma o rozměrech $40 \times 40 \times 160$ mm, stěrka, plastový kelímek, pěch

23.4. Výsledek

Tabulka 47 Rozměry a objemové hmotnosti vzorků s poměrem 1:7,5 (ETAPA XII)

Popis	Označení	Ø b [mm]	Ø h [mm]	Ø l [mm]	Hmotnost m [g]	Objemová hmotnost [kg·m ⁻³]	Ø Objemová hmotnost [kg·m ⁻³]
1 1:7,5 24 H	A	40,5	42,0	156,6	498,77	1870	1890
	B	40,2	41,4	157,0	499,25	1910	
	C	39,7	41,9	157,2	492,41	1890	
2 1:7,5 3 D	A	39,6	39,9	160,0	488,26	1930	1940
	B	39,8	40,0	160,1	496,40	1950	
	C	38,9	40,1	160,2	487,12	1950	
3 1:7,5 7 D	A	39,9	40,0	160,3	477,21	1860	1850
	B	40,7	40,7	160,2	484,78	1830	
	C	40,5	40,0	160,0	480,08	1850	

Pozn. popis 1 1:7,5 24 h - {číslo receptury} {poměr mísení} {doba zrání}

Tabulka 48 Vlastnosti polymerbetonových vzorků s poměrem 1:7,5 (ETAPA XII)

Popis	Označení	Maximální zatížení F _c [kN]	Pevnost v tlaku R _c [MPa]	Ø Pevnost v tlaku R _c [MPa]	Maximální zatížení F _f [kN]	Pevnost v tahu za ohybu R _f [MPa]	Ø Pevnost v tahu za ohybu R _f [MPa]	
1 1:7,5 24 H	A	50,0	49,0	31,3	30,6	8,1	13,5	13,2
	B	48,0	49,0	30,0	30,6	7,5	13,1	
	C	47,0	49,0	29,4	30,6	7,5	12,9	
2 1:7,5 3 D	A	66,0	72,0	41,3	45,0	9,5	17,9	17,7
	B	69,0	69,0	43,1	43,1	9,4	17,7	
	C	68,0	66,0	42,5	41,3	9,0	17,3	
3 1:7,5 7 D	A	86,0	86,0	53,8	53,8	1,7	10,4	11,4
	B	88,0	90,0	55,0	56,3	2,1	12,3	
	C	88,0	84,0	55,0	52,5	2,0	11,6	

Tabulka 49 Rozměry a objemové hmotnosti vzorků s poměrem 1:10 (ETAPA XII)

Popis	Označení	Ø b [mm]	Ø h [mm]	Ø l [mm]	Hmotnost m [g]	Objemová hmotnost [kg·m ⁻³]	Ø Objemová hmotnost [kg·m ⁻³]
4 1:10 24 H	A	40,4	40,3	162,9	495,18	1870	1870
	B	40,5	40,7	163,0	505,81	1890	
	C	40,4	41,2	163,6	502,61	1850	
5 1:10 3 D	A	39,4	40,2	163,2	481,40	1870	1870
	B	39,7	40,1	163,2	487,30	1870	
	C	39,3	40,0	162,9	482,27	1880	
6 1:10 7 D	A	39,8	39,9	160,2	484,69	1900	1890
	B	39,8	40,0	159,9	482,16	1890	
	C	39,9	40,0	159,9	480,28	1880	

Pozn. popis 4 1:10 24 h - {číslo receptury} {poměr mísení} {doba zrání}

Tabulka 50 Vlastnosti polymerbetonových vzorků s poměrem 1:10 (ETAPA XII)

Popis	Označení	Maximální zatížení F _c [kN]		Pevnost v tlaku R _c [MPa]		Ø Pevnost v tlaku R _c [MPa]	Maximální zatížení F _f [kN]	Pevnost v tahu za ohybu R _f [MPa]	Ø Pevnost v tahu za ohybu R _f [MPa]
4 1:10 24 H	A	33,0	34,0	20,6	21,3	20,4	4,4	8,0	7,9
	B	34,0	33,0	21,3	20,6		4,7	8,3	
	C	33,0	29,0	20,6	18,1		4,2	7,4	
5 1:10 3 D	A	43,0	50,0	26,9	31,3	31,0	7,3	13,8	13,5
	B	52,0	49,0	32,5	30,6		7,1	13,2	
	C	54,0	50,0	33,8	31,3		7,0	13,4	
6 1:10 7 D	A	79,0	78,0	49,4	48,8	47,6	9,4	17,8	17,9
	B	76,0	76,0	47,5	47,5		9,4	17,7	
	C	77,0	71,0	48,1	44,4		9,7	18,2	

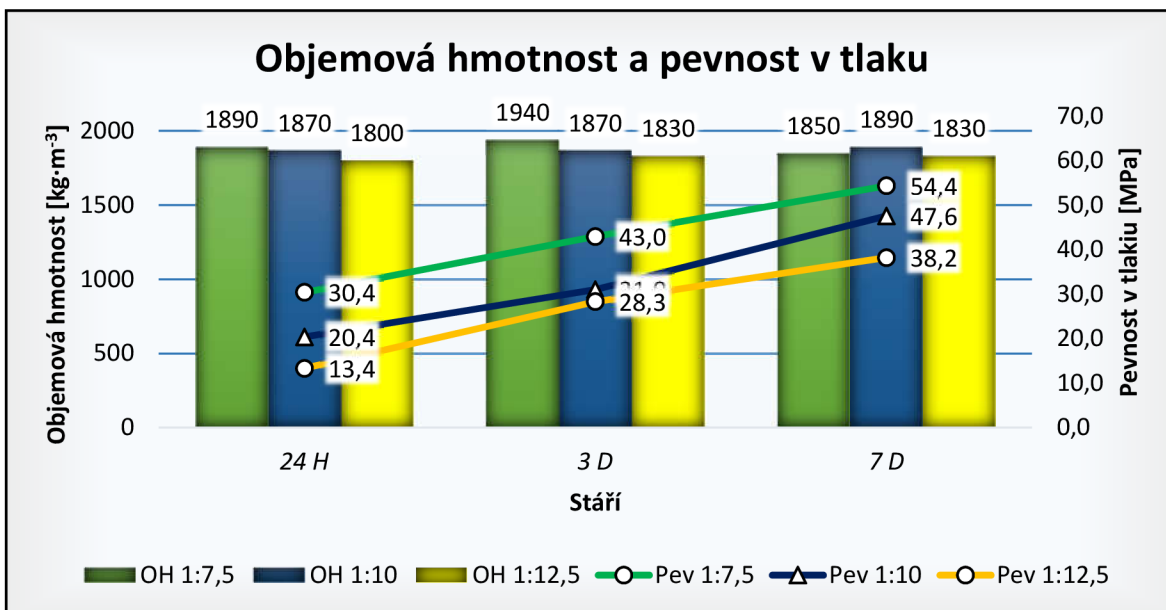
Tabulka 51 Rozměry a objemové hmotnosti vzorků s poměrem 1:12,5 (ETAPA XII)

Popis	Označení	Ø b [mm]	Ø h [mm]	Ø l [mm]	Hmotnost m [g]	Objemová hmotnost [kg·m ⁻³]	Ø Objemová hmotnost [kg·m ⁻³]
7 1:12,5 24 H	A	40,9	40,0	160,6	473,70	1810	1800
	B	41,2	40,1	160,1	476,69	1800	
	C	41,1	40,0	160,2	469,45	1780	
8 1:12,5 3 D	A	40,5	40,0	159,7	477,90	1850	1830
	B	40,5	40,1	159,7	472,33	1820	
	C	40,8	40,0	159,6	477,60	1830	
9 1:12,5 7 D	A	40,5	40,3	158,7	475,12	1840	1830
	B	40,5	40,3	159,2	474,25	1830	
	C	40,7	40,8	158,9	478,67	1810	

Pozn. popis 7 1:12,5 24 h - {číslo receptury} {poměr mísení} {doba zrání}

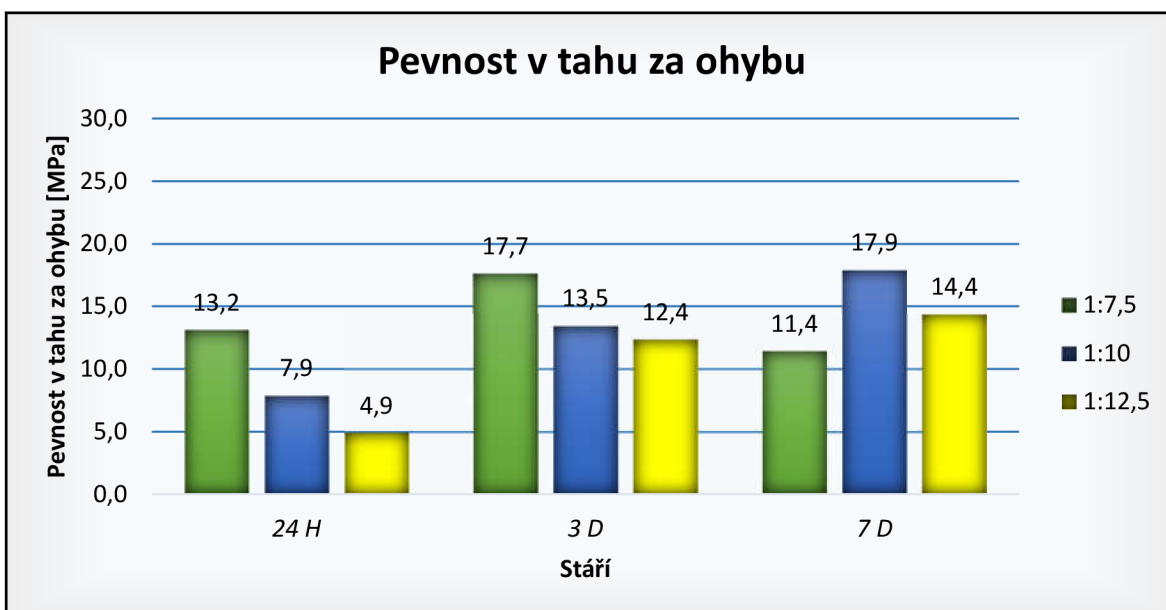
Tabulka 52 Vlastnosti polymerbetonových vzorků s poměrem 1:12,5 (ETAPA XII)

Popis	Označení	Maximální zatížení F _c [kN]		Pevnost v tlaku R _c [MPa]		Ø Pevnost v tlaku R _c [MPa]	Maximální zatížení F _f [kN]	Pevnost v tahu za ohybu R _f [MPa]	Ø Pevnost v tahu za ohybu R _f [MPa]
7 1:12,5 24 H	A	21,4	20,8	13,4	13,0	13,4	2,7	4,9	4,9
	B	21,4	21,6	13,4	13,5		2,8	5,1	
	C	21,2	21,8	13,3	13,6		2,7	4,8	
8 1:12,5 3 D	A	45,0	46,0	28,1	28,8	28,3	7,0	13,0	12,4
	B	44,0	46,0	27,5	28,8		6,5	12,0	
	C	46,0	45,0	28,8	28,1		6,6	12,1	
9 1:12,5 7 D	A	63,0	61,0	39,4	38,1	38,2	7,7	14,1	14,4
	B	62,0	61,0	38,8	38,1		7,8	14,3	
	C	59,0	61,0	36,9	38,1		8,4	14,8	



Graf 26 Objemová hmotnost a pevnost v tlaku polymerbetonových vzorků po 24 h, 3 a 7 dnech ETAPA XII

Pozn. 1:15 – míscí poměr epoxid:plnivo



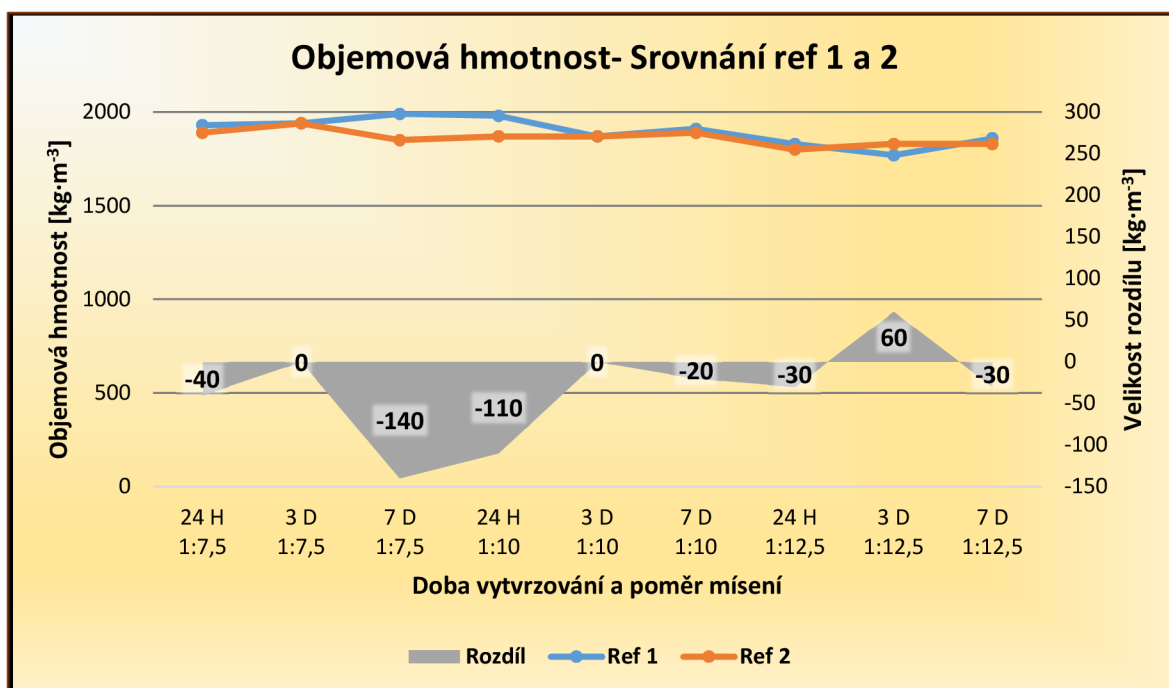
Graf 27 Pevnost v tahu za ohybu polymerbetonových vzorků po 24 h, 3 a 7 dnech ETAPA XII

Pozn. 1:15 – míscí poměr epoxid:plnivo



Obrázek 25 Referenční polymerbetony s křemičitými písky ETAPA XII (autor)

23.4.1. Srovnání referenčních polymerbetonů z ETAPY XII a XI



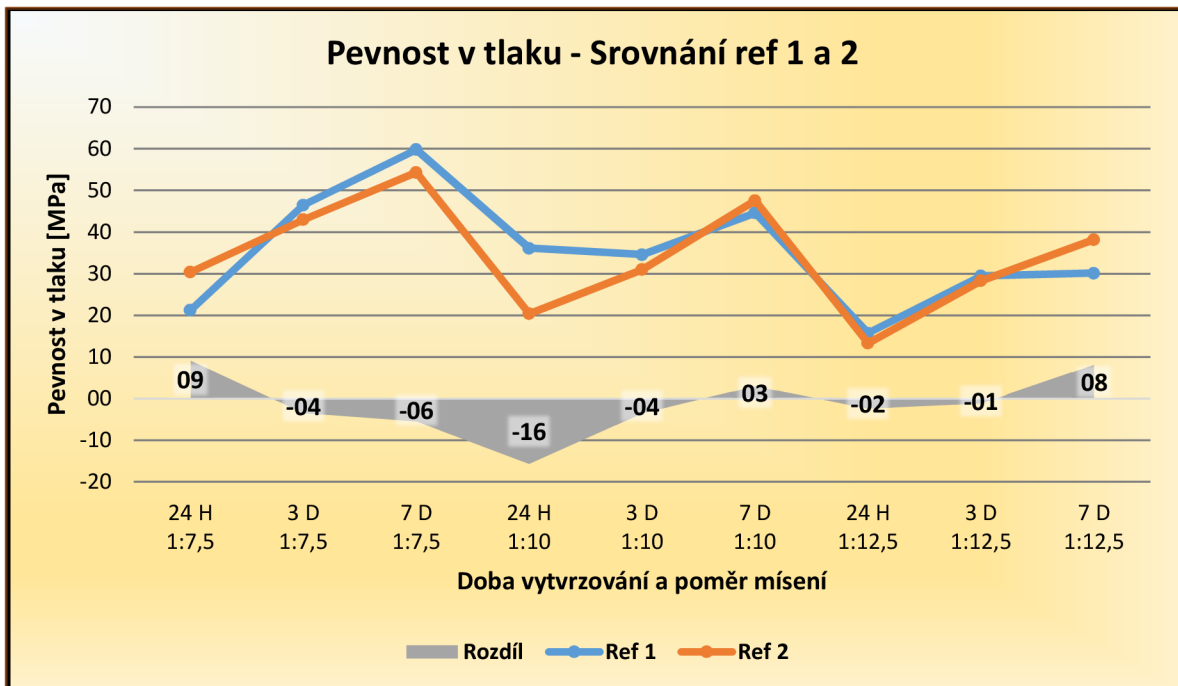
Graf 28 Srovnání objemových hmotností referenčních polymerbetonů ETAPA XII

Pozn.

ref 1 – referenční polymerbeton s křemičitými písky, zkušební vzorky 20×20×100 mm

ref 2 – referenční polymerbeton s křemičitými písky, zkušební vzorky 40×40×160 mm

1:15 – mísící poměr epoxid:plnivo



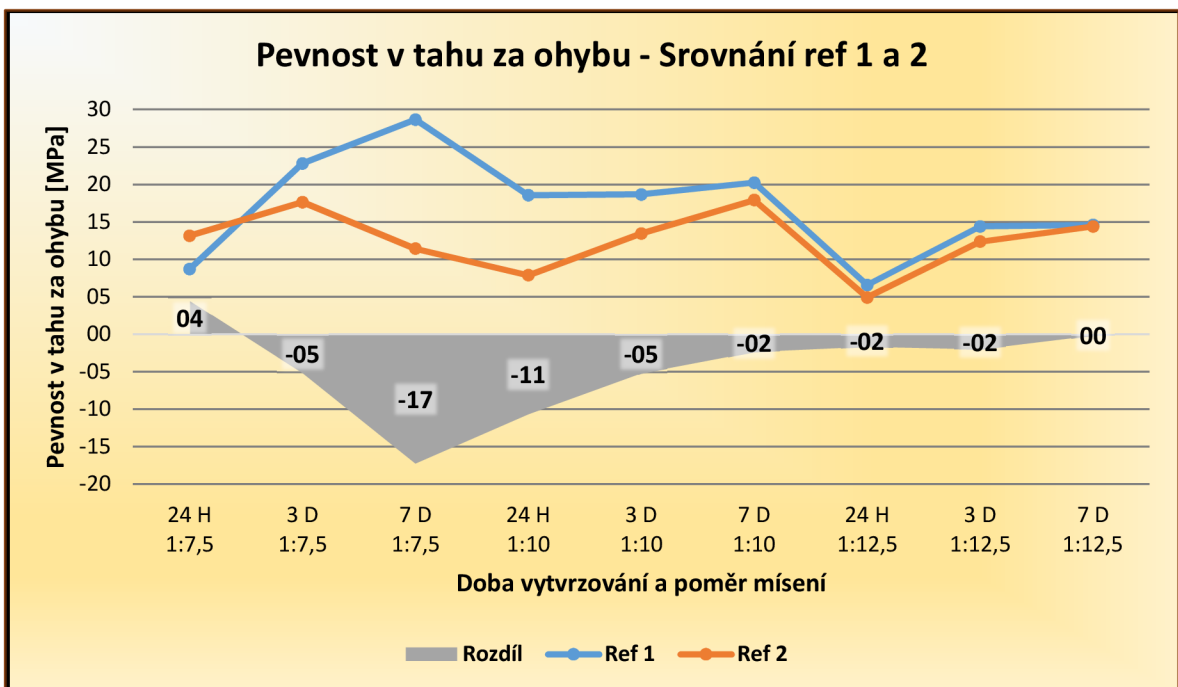
Graf 29 Srovnání pevností v tlaku referenčních polymerbetonů ETAPA XII

Pozn.

ref 1 – referenční polymerbeton s křemičitými písky, zkušební vzorky 20×20×100 mm

ref 2 – referenční polymerbeton s křemičitými písky, zkušební vzorky 40×40×160 mm

1:15 – mísicí poměr epoxid:plnivo



Graf 30 Srovnání pevností v tahu za ohybu referenčních polymerbetonů ETAPA XII

23.5. Diskuse výsledků ETAPY XII

V rámci této etapy bylo cílem vyrobit stejným výrobním postupem polymerbetonové zkušební vzorky za použití křemičitých písků. Jedinou změnou byla velikost zkušebních vzorků. Byly vyráběny vzorky o rozměrech $40 \times 40 \times 160$ mm, pro potvrzení shodnosti se zkušebními vzorky $20 \times 20 \times 100$ mm nebo případného návrhu a odhadu změny vlastností polymerbetonových vzorků při výrobě těchto větších těles. Zkušební vzorky nebyly vyráběny ze skelného recyklátu z důvodu malé produkce mletého skla a diametrálně odlišné spotřeby plniva na velké zkušební vzorky.

Z důvodu nevýrazných změn vlastností polymerbetonových zkušebních vzorků ref 1 s rozměry $20 \times 20 \times 100$ mm a ref 2 $40 \times 40 \times 160$ mm, bylo provedeno hlavně porovnání výsledných hodnot obou sad vzorků.

Objemová hmotnost u ref 1 vyšla ve většině případů větší nebo stejná jako u ref 2. Pouze v případě poměru pojiva ku plnivu 1:12,5 byl ref 2 o $60 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ vyšší než u ref 1. Celkové rozmezí rozdílů obou objemových hmotností se pohybuje mezi 140 a $0 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Na základě těchto hodnot lze vyvodit závěr, že zkušební vzorky o rozměrech $40 \times 40 \times 160$ mm je nutné hutnit s vyšší energií, než v případě ref 1.

Jak již předznamenala objemová hmotnost, pevnost v tlaku následuje její chování. Srovnáním ref 1 a 2 se ukázaly rozdíly sahající od 1,2-15,7 MPa, přičemž ve většině případů má ref 1 větší pevnosti.

V případě pevnosti v tahu za ohybu bylo dosaženo hodnot mezi 0,2 a 17,2 MPa. Kromě dvou situací u 7 D 1:7,5 a 24 H 1:10, kde jsou extrémní odchylek, je rozdíl obou sad velmi malý. Tyto dva extrémní body již na počátku předznamenaly velký rozdíl objemových hmotností s rozdílem hodnot 140 a $110 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

24. ETAPA XIII

24.1. Cíl

Vytvořit návrh výrobní linky na recyklaci autoskla. Návrh a schéma výrobního procesu pro možnost, že bude vyráběn skelný recyklát z kusového autoskla. Dále návrh pro případ úpravy již předdrceného autoskla domíláním na požadovanou granulometrii.

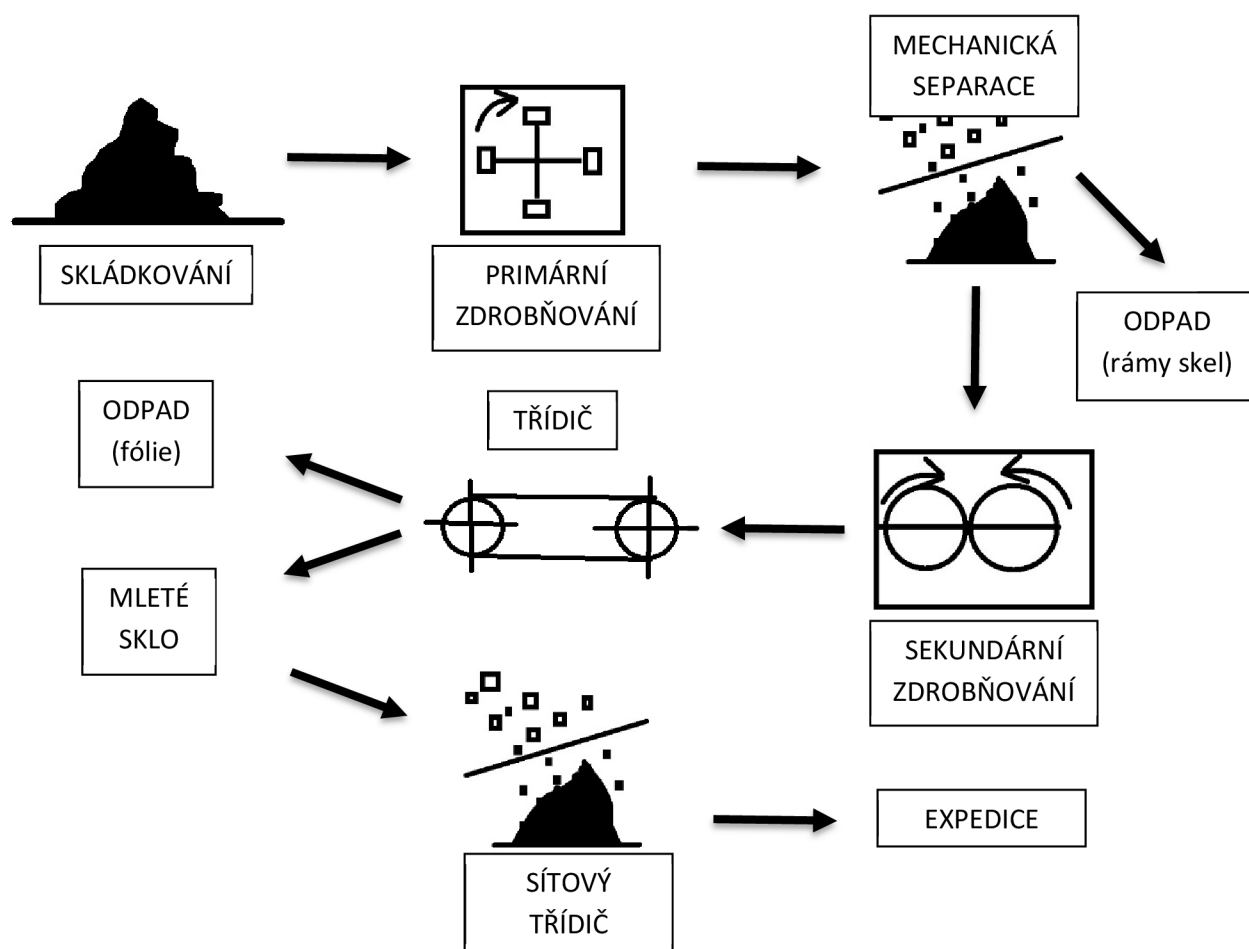
24.2. Popis

Z provedených mletí a práce s mletím skla jsou zřejmé následující fakta. Sklo samo o sobě je velmi křehký materiál se značnou pevností. Toto sklo pevně spojené s ochrannou fólií získává další vlastnost a tou je vysoká soudržnost a houževnatost, která brání úpravě skla, jako v případě jednoduchého skelného materiálu. Před samotným mletím a separováním skla od fólie je nutné předdrtit kusové autosklo.

Pro křehkost skla je nutné mít buď kontinuální mletí, nebo dostatečně rychle odebírat namleté sklo, aby se předcházelo nežádoucímu domíláním a dalšímu zdrobňování částic skla. Celý proces bude muset být schopný vytvářet materiál s velmi malým kolísáním granulometrie. Větší výkyvy by mohly způsobit nadsítný přebytek, který by teoreticky mělo být možné znovu mlít, nebo podsítný přebytek, který by se musel skladovat a postupně přidávat do výsledné směsi jako korekce.

Z důvodu přítomnosti fólie, musí být její odběr nebo odvod z mlecího zařízení kontinuální. Přílišné zahlcení přístroje způsobuje snížení výtěžnosti až úplné ucpání otvorů pro odchod mletého skla.

24.3. Recyklační linka



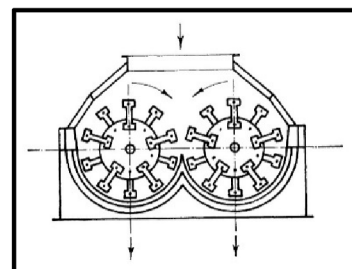
Obrázek 26 Schéma recyklační linky (autor)

24.3.1. Skládkování

Počátek celého recyklačního procesu začíná skládkováním. Dovezený materiál je vhodné skládkovat na haldách a ty ponechat ladem volně mimo zastřešení (12-16 měsíců). Ze zkušenosti skládkování autoskel v exteriéru dochází k uvolnění vazby mezi sklem a fólií. Spojující mezivrstva na venkovních podmínkách silně degraduje a dochází k separaci jednotlivých vrstev. Tento stav věcí velmi napomáhá v další úpravě. [25]

24.3.2. Primární zdrobňování

V této fázi by docházelo k přesunu materiálu k drtícímu zařízení. Mohl by jím být kladivový mlýn nebo čelistový drtič. Zde je nutné, aby sklo bylo nalámáno na menší kusy, došlo k prvotnímu oddělování skla od bezpečnostní fólie a hlavně byly od autoskla odděleny části rámu a gumového těsnění.



Obrázek 27 Dvourotorový kladivový mlýn [22]

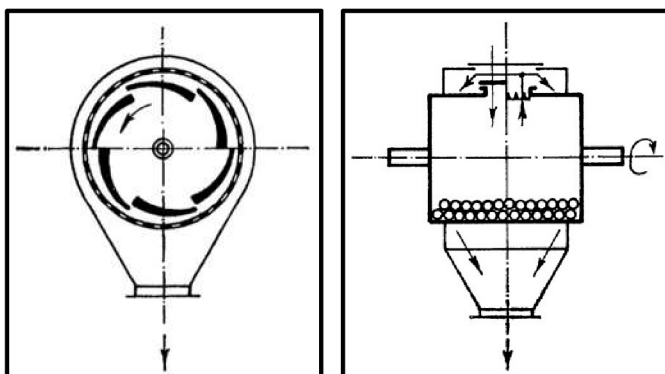
Pravděpodobně nejvhodnějším adeptem by mohl být kladivový mlýn, který by byl schopen úderů kladiv zajistit větší destrukci autoskel.

24.3.3. Mechanická separace

Podrcené autosklo by v této fázi obsahovalo nečistoty v podobě rámu a gumového těsnění. S pomocí mechanické ruky a kamery by na základě odlišné barvy bylo možné separovat tato cizorodá tělesa od autoskla. Z důvodu výkonnosti, šetření nákladů a zdraví by tuto práci neměla vykonávat lidská síla. Součástí stroje by měl být instalovaný elektromagnet pro odstranění kovových částic.

24.3.4. Sekundární zdrobňování

Alfa a omega celé recyklační linky. V případě diplomové práce byl využíván na odstranění skla od fólie výlučně kulový mlýn (omílací buben OM 20 F). Kulový mlýn by v takovém případě vyžadoval kontinuální odběr či vysypávání namletého materiálu.

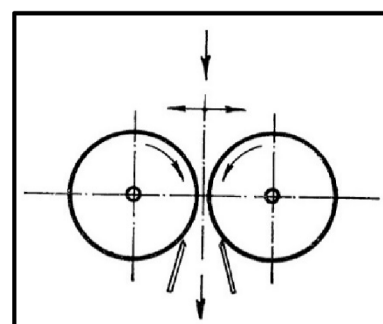


Mletí je velmi intenzivní a čas navíc strávený v bubnu způsobuje nežádoucí

Obrázek 28 Obrázek 26 Vlevo Bubnový mlýn s obvodovým sítem, vpravo bubnový mlýn s vyprazdňovacím roštem [22]

domílání. Dle ČSN 72 9201 by bylo možné použít bubnový mlýn s vyprazdňovacím roštem případně bubnový mlýn s obvodovým sítem. Oba typy mlýnů by zajistily kontinuální odběr mletého skla, ovšem fólie by se v mlýně hromadila. Buď by se musela fólie cyklicky vytahovat nebo vysypávat, což by se pravděpodobně neobešlo bez přerušování provozu.

Efektivnější způsob mletí by mohl nabídnout válcový mlýn, používaný k tomuto účelu firmou Refaglass. V této firmě výsledná frakce autoskla se pohybuje v rozmezí 0-4 mm. Teoreticky by mělo být možné rychlostí otáček, rozdílem rychlostí otáček jednotlivých válců a změnou šterbiny mezi válci řídit velikost mletého materiálu. Školní prostory nenabízejí možnost využití tohoto mlecího zařízení, nebylo tedy možné tento odhad potvrdit praktickým měřením. Válcový mlýn umožňuje kontinuální mletí, okamžitý odvod

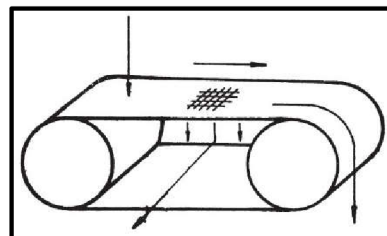


Obrázek 29 Pomaluběžný/rychluběžný válcový mlýn, na jemné mletí a s osovým posunem [22]

namletého materiálu a současně i odchod fólie. Toto mlecí zařízení splňuje všechny požadavky, mohlo by tedy být vhodným adeptem.

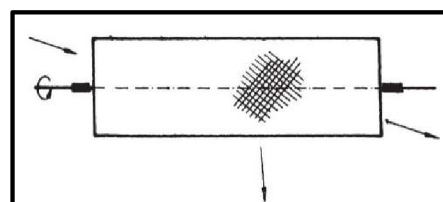
24.3.5. Třídič

V třídící fázi je nutné oddělit sklo od fólie a ostatních nečistot. Plastová fólie díky své tuhosti ani po mletí v kulovém mlýně se příliš netrhá. Vyskytuje se stále v podobě velkých kusů. Sklo by mělo být separovatelné na obyčejném mechanickém třídíči na základě rozdílné velikosti částic skla a fólie. K účelu separace mletého skla od fólie a větších kusů nečistot by mohl být dostačující síťový pásový třídíč. V případě nutnosti by mohl být doplněn o vibrace.



Obrázek 30 Síťový pásový třídíč [23]

V závislosti na ceně by válcový třídíč měl být vysoce spolehlivý separátor, jelikož rotace by měla zajistit pohyb a obracení kusů fólie a vysypávat na nich zachycené sklo. Dále by pokračovalo pouze pomleté sklo.



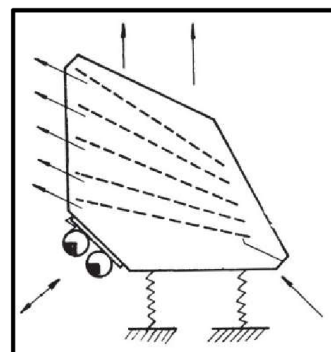
Obrázek 31 Válcový třídíč [23]

24.3.6. Síťový třídíč

V ideálním případě by celý proces byl nastaven na produkci autoskla frakce 0-2 a v této fázi by bylo prováděno třídění na sítích. Stanovení nadsítného a podsítného zbytku. V případě velkého přebytku nadsítného zbytku > 2 mm, by se vrátil do fáze sekundárního zdrobňování.

Pokud by zde nebylo sklo požadované výsledné frakce, muselo by se buď provádět roztrídění skla na frakce a následně v požadovaném poměru míchat. Ovšem to by způsobovalo neefektivitu procesu, zůstávaly by zbytky nežádoucích frakcí a zvyšovala by se pracnost. Nebo by před síťovým třídíčem bylo instalováno další mlecí zařízení, které by vytvářelo požadované mleté sklo s určitou granulometrií. Ovšem ani tento způsob by nepřispíval k ekonomické stránce celého procesu.

V ideálním případě by zde figuroval pouze vibrační třídíč. Rozdělil by mleté sklo hlavně na frakce > 2 mm, 0,25-2 mm a $< 0,25$ mm. Většina zbytkových nečistot neprojde sítí 2 mm.



Obrázek 32 Propadový vibrační třídíč [23]

Nadsítnou frakci > 2 mm by proto bylo nutné kontrolovat z pohledu množství nečistot. Podsítné frakce by nemělo být více než 10-15 % z hmotnosti celkové výsledné směsi. Celou práci by mohl vykonávat propadový vibrační třídič. Z důvodu prašnosti by byl vhodný opláštěný přístroj, viz příložený obrázek propadový vibrační třídič.

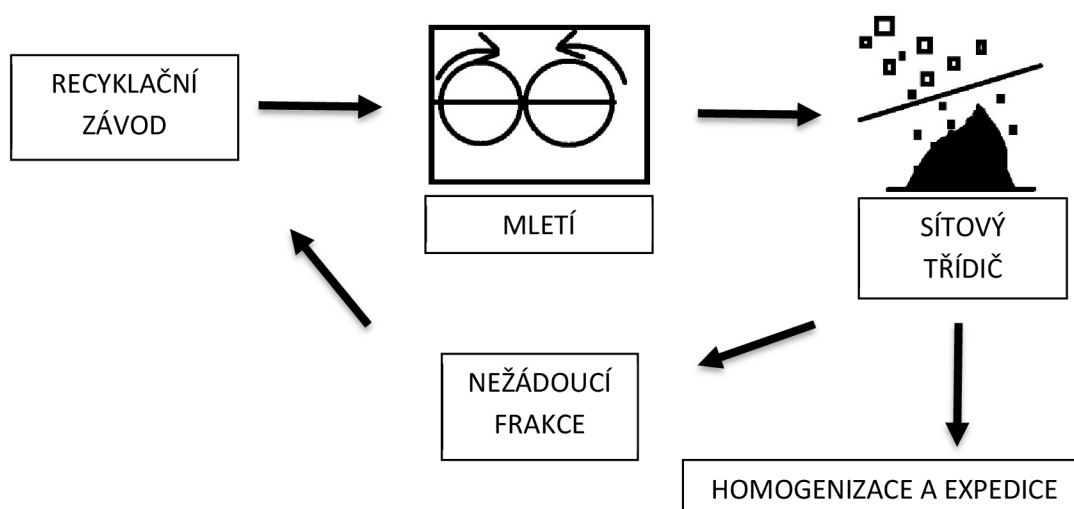
24.3.7. Expedice

Firma Atemit, pravděpodobně i ostatní firmy pracující s polymerbetony, mají nastavené receptury na 10 kg pytle plniva. Zde by docházelo k pytlování a navažování suroviny do pytlů s následným paletováním.

24.3.8. Shrnutí recyklační linky

Zavedením recyklační linky se z celistvých autoskel bude vyrábět recyklované sklo pro využití v polymerbetonech. Tento záměr by bylo náročné realizovat, ovšem při správném provedení zajistí snížení nákladů na plnivo do polymerbetonů. Tento výrobní proces má svá úskalí především v pořizovací ceně pozemků, obzvláště v okolí Brna, v požadavku na zpracování velkého množství autoskel (desítky tisíc t/rok), aby byla zajištěna rentabilita celého projektu. Přestože by pravděpodobně bylo možné nevyhovující frakce mletého skla prodávat do skláren, tak velkou překážkou je cena. Pokud by výsledný produkt byl dražší než 2.000 Kč/t mletého skla, nebyl by použitelný do polymerbetonů jako ekonomická náhrada tradičního plniva. [25] Na druhou stranu v případě úspěchu by byl zajištěn přísun levného plniva s možností prodeje nevyužitého recyklovaného skla.

24.4. Domílací linka



Obrázek 33 Domílací linka (autor)

Druhou jednodušší možností je ve spolupráci s recyklačním závodem odebírat jejich mleté autosklo, či sklo obecně, a mlít předupravenou surovinu. Tato možnost by přinesla nižší pořizovací náklady a jednodušší práci. Na druhé straně by velmi záleželo na dohodnuté ceně za 1 kg recyklovaného skla.

24.4.1. Mletí

Jelikož by v této fázi přicházelo prakticky čisté sklo bez většího množství nečistot, postačoval by jednoduchý způsob mletí buď na kulových mlýnech nebo válcových mlýnech popsanych v části recyklační linky sekundárního zdrobnování.

24.4.2. Síťový třídič

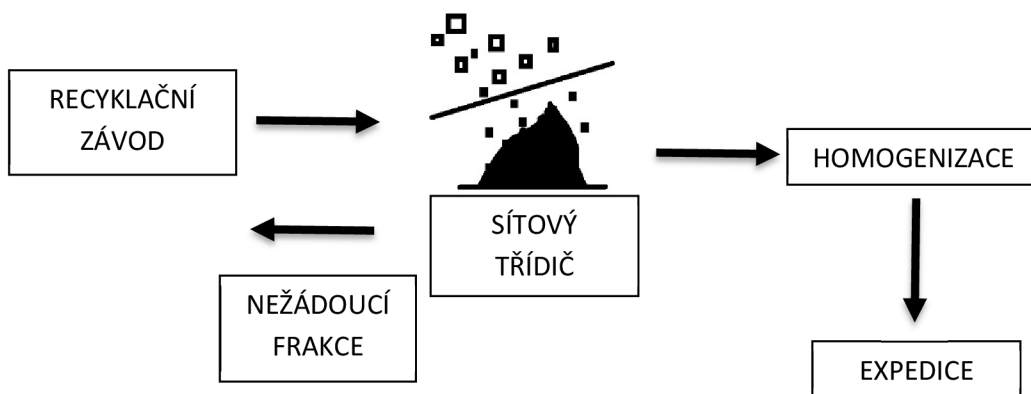
Pracovní etapa třídění by mohla být opět stejná, jak již byla popsána v části recyklační linky síťového třídění. Došlo by zde k výrazné změně. Díky využití spolupráce s recyklačním závodem by síťový třídič mohl rozdělovat mleté autosklo na větší množství frakcí. Následně by se dalo si vytvářet směsi s variabilnější křivkou zrnitosti a přebytky vracet zpět do recyklačního závodu pro další využití ve sklárnách. Přesněji řečeno by se mohlo jednat pouze o frakce větší než 1 mm, u drobnějších frakcí by mohl být nesouhlas ze strany skláren. Tyto velikosti jsou pro ně problematictější zpracovatelné. Mleté sklo poskládané z různých frakcí by bylo nutné před expedicí řádně homogenizovat.

24.4.3. Shrnutí domílací linky

Jedná si sice o ekonomičtější způsob, než v případě tvorby celé domílací linky, ovšem zde by velmi záleželo na dohodě s daným recyklačním závodem. Externí firma by zodpovídala za kvalitu dodávaného materiálu, cena vstupní suroviny by samozřejmě byla vyšší než v případě nákupu kusového autoskla a velkou roli by hrála vzdálenost od recyklační linky. Jelikož kdyby bylo možné vracet nepotřebné frakce recyklačnímu závodu, nesměly by náklady na přepravu zpět zasahovat do ceny, jinak by tato možnost nebyla proveditelná.

Dle slov firmy Refaglass 1 t má cenu 2.000,- Kč. Firma Atemit má hranici pro recyklované autosklo 2.000 Kč/t. Pokud by nebylo možné sehnat jinou firmu nebo si vyjednat příznivější podmínky, není zde finanční prostor pro realizaci.

24.5. Třídící linka



Obrázek 34 Třídící linka (autor)

Z důvodu finančních bariér domílací linky a vysokých počátečních nákladů recyklační linky se nabízí poslední vysoce ekonomická varianta. Ve spolupráci s recyklačním závodem pořídit pouze síťový třídíč. Sklárný odeberají mleté sklo z těchto závodů, ale požadují určitou zrnitost. Teoreticky by se dalo vyjednat situaci, kdy by se z hotového výrobku recyklačního závodu vytřídily požadované frakce, smísily se v daném poměru, zhomogenizovaly a vzniklá směs se expedovala pro využití do polymerbetonů a zbytky skla by se vrátily do závodu.

Tato varianta by vyžadovala umístění přímo v závodě, aby nevznikaly vedlejší náklady za přepravu.

25. Závěr

Diplomová práce si vzala za cíl návrh pracovního postupu recyklace autoskla pro využití v polymerbetonech a následný popis recyklační linky, která by tento recyklační proces vykonávala.

Celkový postup návrhu procesu recyklace byl rozdělen do několika ETAP. Předmětem ETAPY I-VII byla úprava kusového autoskla na recyklát frakce 0,25-2 mm s maximálním zastoupením frakce 0,5-1 mm. ETAPA VIII-XII se zaměřovala na výrobu polymerbetonových vzorků s využitím recyklovaného plniva jako 100 % náhrady tradičního plniva, křemičitého písku. ETAPA XIII popisuje možné návrhy úpravnických linek na zpracování autoskla.

ETAPA I usilovala o úpravu kusového autoskla s pomocí čelistového drtiče (Retsch BB 200) a kulového mlýnu (Omílací buben OM 20F). Čelistový drtič byl seznán nevhodným pro účely předdrcení autoskla a narušení vazeb mezi sklem a bezpečnostní fólií. Konstrukce drtiče neumožňuje zpracovávání suroviny s přítomností fólie nebo materiálu, který brání okamžitému rozpadu na menší kusy. Získaná frakce drceného skla byla 0-4 mm s majoritním zastoupením frakce 1-4 mm. Kulový mlýn přinesl příznivější výsledek z pohledu schopnosti oddělit sklo od fólie. Prvním mletím bylo získáno mleté sklo frakce 0-4 mm s většinovým zastoupením frakce 0-0,25 mm. Nevýhodou použití kulového mlýna pro experimentální ověření účinnosti mletí je ale nutná minimální velikost vsázky 3 kg.

Pro studium procesu mletí skla bylo pro ETAPU II vyhledáno zařízení umožňující mletí v menším objemu vsázky s obdobným způsobem rozměňování jako u kulového mlýna. Nutným požadavkem byla možnost regulace rychlosti otáček, případně dalších parametrů. Planetový mlýn (Pulverisette 6) nabízel vhodnou variantu. Menší vzorky v množství 150-200 g vsázky umožnily provedení většího množství pokusů mletí při různém nastavení otáček a při různé době mletí. Na základě většího počtu experimentů byl zjištěn příznivý vliv krátké doby mletí. Nejlepších výsledků dosáhl vzorek mletý 4 krát v minutových intervalech. Obsah nadsítých zbytků a požadované frakce 0,25-2 mm byl jeden z nejvyšších. Hodnota celkové produkce (poměr namletého skla k celkové vsázce) byl 22 %. Tato hodnota byla vyšší o 5-20 % oproti většině sledovaných vzorků.

Předpoklad krátkých časů mletí při opakování byl testován v ETAPĚ III. Měření potvrdila efektivitu krátkých časů. Bylo dosaženo výtěžnosti až 26 % při 45 sekundových intervalech a čtyřech opakováních. Sklo je velmi tvrdý a křehký materiál, v mlecím zařízení dochází velmi rychle ke zdrobňování. Ideální mletí autoskla by tedy mělo být kontinuální a odběr namletého materiálu okamžitý, aby se předcházelo nežádoucímu domílání. Dále bylo při mletí redukováno množství mlecích těles z 25 na 10. Tento parametr zpomalil mletí a prodloužil jej. Úprava množství mlecích těles výrazně ovlivňuje intenzitu mletí. Snížení množství mlecích zajišťuje možnost odběru mletého materiálu v době, kdy dosáhl požadované granulometrie.

ETAPA IV opět pracovala na kulovém mlýně. Byla testována hypotéza vlivu množství a velikosti mlecích těles na výsledek mletí. Byly nastaveny krátké doby mletí a bylo kontinuálně odváděno mleté sklo. Po celou dobu byl namontován vysypávací poklop. Pro celkový popis a možnost porovnávání mletého skla byly zavedeny koeficienty celkové produkce, produktivity a výtěžnosti. Celková produkce představuje poměr celkového množství získaného skla během procesu mletí vzhledem k vsázce. Produktivita udává poměr mletého skla frakce 0,25-2 mm k celkové vsázce a výtěžnost je poměr produktivity k celkové produkci. Mlecí tělesa v kulovém mlýně byla vytríděna dle velikosti na tělesa o průměru 17 mm, 33 mm a 50 mm. Mletí probíhala s každou velikostí těles samostatně při rychlosti otáček $29 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$, $49 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$ a $58 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$. Dle výsledných vlastností mletého skla byla dále používána kombinace 33 mm a 50 mm průměru mlecích těles. Při kombinaci těchto dvou velikostí mlecích těles byla dosažena výtěžnost až 49 %. Proto další mletí probíhala s kombinací mlecích těles o průměru 33 mm a 50 mm.

V. ETAPA sledovala změnu křivky zrnitosti mletého skla během mletí v čase. Do kulového mlýna byla vložena vsázka 3 kg a byla mleta 40 minut s odběry po 10 minutách. Z pohledu křivky zrnitosti proběhlo prvních 30 minut bez větších výkyvů. Poslední odběr u vzorku 1 zaznamenal nárůst frakce 1-2 mm o 5 % a pokles frakce 0,25-0,5 mm o 8 %. Tato etapa prokázala možnost kontinuálního mletí vsázky alespoň 30 minut za zachování konstantních výstupních vlastností mletého skla.

Pro zvýšení výtěžnosti byl cílem ETAPY VI změnit poměr mlecích těles o průměru 33 mm a 50 mm tak, aby byla dosažena výtěžnost vyšší než 45 %. Úpravou poměru těles 33 mm v plném množství a těles o průměru 50 mm použitých v polovičním množství bylo dosaženo

zvýšení výtěžnosti při 32 ot·min⁻¹ na 51 %. V případě změny počtu 50 mm těles na pouhých 30 ks a ponechání všech 33 mm těles bylo při 32 ot·min⁻¹ dosaženo výtěžnosti 54 %. Podařilo se prokázat, že úpravou poměru mlecích těles lze dosáhnout vyšší výtěžnosti. Přesto výtěžnost 54 % by pro recyklační linku byla stále nízká. Hodnota 54 % představuje hranici možností, které je možné dosáhnout se školním kulovým mlýnem. S největší pravděpodobností by výtěžnost výrazně zvýšila větší perforace vnějšího pláště, tedy rozšíření vysypávacích otvorů na mlýně na větší plochu, než jakou v současnosti zaujímá.

Pro výrobu polymerbetonů bylo v rámci ETAPY VII vybráno několik vhodných zástupců křivek zrnitosti, které se nejvíce blížili křivkám zrnitosti, které používá firma Atemit. Požadovaná granulometrie by měla být v rozmezí frakce 1-2 mm 5-20 %, 0,5-1 mm 38-60 % a 0,25-0,5 mm 18-20 %. Ze získaných křivek zrnitosti (více jak 30 variant) byly vybrány 3 nejvhodnější křivky. První křivka zrnitosti byla získána při mletí skla v kulovém mlýně s mlecími tělesy průměru 33 mm v plném množství a 50 mm v polovičním množství při 32 ot·min⁻¹. Průběh zrnitosti byl 2-4 mm 0 %, 1-2 mm 29 %, 0,5-1 mm 37 %, 0,25-0,5 mm 34 % a 0,25-0 mm 0 %. Druhá křivka vznikla při 24 ot·min⁻¹ s mlecími tělesy 33 a 50 mm v plném množství. Granulometrie byla 2-4 mm 0 %, 1-2 mm 40 %, 0,5-1 mm 32 %, 0,25-0,5 mm 28 % a 0,25-0 mm 0 %. Třetí křivka zrnitosti byla získána při 26 ot·min⁻¹ a mlecích tělesech 33 mm v plném množství a 30 ks 50 mm těles. Křivka zrnitosti měla následující průběh 2-4 mm 0 %, 1-2 mm 33 %, 0,5-1 mm 34 %, 0,25-0,5 mm 32 % a 0,25-0 mm 0 %. Při stejném nastavení kulového mlýna byly vyrobeny tři směsi mletého skla v množství 2-3 kg na výrobu polymerbetonů. V rámci této etapy se také prokázalo dosažení totožných výsledků při nastavení stejných parametrů mletí. Bylo ověřeno, že při dodržení stejného definovaného postupu mletí je vždy dosaženo stejných parametrů výsledné namleté směsi skla. Namleté sklo mělo vždy požadovanou křivku zrnitosti.

V rámci VII. ETAPY byla provedena laserová granulometrie 3 vyrobených směsí skla a referenčního křemičitého písku dodaného firmou Atemit. Laserová granulometrie prokázala, že mleté sklo na kulovém mlýně má maximální zastoupení v rozmezí 502-710 μm. Křemičité písky od firmy Atemit mají maximální zůstatky v rozmezí 632-1002 μm.

ETAPA VIII až XII se zabývala výrobou polymerbetonových vzorků a zkoumáním jejich vlastností. V rámci ETAPY VIII bylo provedeno první míchání polymerbetonových směsí s obsahem mletého skla. K výrobě byla použita epoxidová pryskyřice EPOXY ST 100 od firmy Remmers. Byly vyrobeny zkušební vzorky o rozměrech 20 × 20 × 100 mm. Poměr epoxidu k plnivu byl 1:15, 1:10 a 1:5. Při hutnění polymerbetonu do forem s potravinovou fólií jako bedněním bohužel došlo k napnutí fólie a zmenšení objemu těles, převážně ke zkosení hran. Z tohoto důvodu byly dosaženy nízké objemové hmotnosti v rozmezí 1400-1560 kg·m⁻³, pevnosti v tlaku po 24 hodinách 5,7-12,5 MPa a pevnost v tahu za ohybu 3,4-12,4 MPa.

Při další práci s polymerbetony v ETAPĚ IX byl způsob bednění upravený tak, aby zkušební vzorky co nejpřesněji kopírovaly tvar formy. Objemová hmotnost polymerbetonů vyráběných firmou Atemit se pohybuje okolo hodnoty 2000 kg·m⁻³. Tato hodnota tedy byla cílem IX. ETAPY. Bylo navrženo a odzkoušeno 9 receptur, kombinovaly se 3 poměry mísení pryskyřice a plniva a mleté sklo bylo použito ve třech různých frakcích. Sklo mělo následující křivku zrnitosti: 2-4 mm 0 %, 1-2 mm 29 %, 0,5-1 mm 34 %, 0,25-0,5 mm 37 % a 0,25-0 mm 0 %. K této křivce zrnitosti se přidal nadsítový zbytek větší než 2 mm, který vznikl během mletí. Granulometrie se změnila následovně: 2-4 mm 11 %, 1-2 mm 26 %, 0,5-1 mm 31 %, 0,25-0,5 mm 33 % a 0,25-0 mm 0 %. K poslední směsi skla se přidalo 10 % jemných podílů menších než 0,25 mm. Třetí křivka měla průběh 2-4 mm 10 %, 1-2 mm 23 %, 0,5-1 mm 28 %, 0,25-0,5 mm 29 % a 0,25-0 mm 10 %. Z každé směsi byly vytvořeny tři polymerbetony s poměry epoxidu a plniva 1:15, 1:10 a 1:5.

Po 24 hodinách byla stanovena objemová hmotnost, pevnost v tlaku a tahu za ohybu. Nejvyšších hodnot objemové hmotnosti 1560-1790 kg·m⁻³ bylo dosaženo u receptur s obsahem nadsítného zbytku a 10 % jemných podílů. Pevnosti v tlaku po 24 hodinách byly 11-31 MPa a pevnosti v tahu za ohybu 6,9-22,5 MPa. Z toho vyplývá, že nejlepší plnivo je s obsahem nadsítné frakce a 10 % jemných částic. Přestože stále nebylo dosaženo objemové hmotnosti okolo 2000 kg·m⁻³, byl učiněn krok vpřed. V další ETAPĚ X byl použit pěch pro zvýšení hutnosti polymerbetonové směsi a přiblížení se 2000 kg·m⁻³.

V ETAPĚ X byly upraveny poměry mísení na 1:12,5; 1:10 a 1:7,5. Tyto poměry byly stanoveny po konzultaci s firmou Atemit, jelikož blíže odpovídají reálně používaným recepturám. Po zkušenostech z předchozí ETAPY IX byl použit dřevěný pěch na hutnění

polymerbetonové směsi ve formě. Sledování vývoje pevností bylo prodlouženo z 24 hodin na 24 hodin, 3 dny a 7 dnů. Plnivo mělo následující křivku zrnitosti 2-4 mm 17 %, 1-2 mm 28 %, 0,5-1 mm 24 %, 0,25-0,5 mm 22 % a 0,25-0 mm 10 %.

Při poměru pojiva a plniva 1:7,5 byly nejvyšší dosažené hodnoty, jedná se o nejméně ekonomickou variantu. Objemové hmotnosti kolísaly mezi 1760-1840 kg·m⁻³, pevnosti v tlaku narůstaly z 24 hodinových 19,7 MPa, přes 3 denní 35,8 MPa až na 7 denní 42,3 MPa. Pevnost v tahu za ohybu byla po 24 hodinách 13,1 MPa, po 3 dnech 21,2 MPa a po 7 dnech 17,6 MPa. Pokles byl s největší pravděpodobností zapříčiněn nízkou objemovou hmotností.

Poměr 1:10 měl objemové hmotnosti velmi vyrovnané v rozmezí 1760-1790 kg·m⁻³. Pevnost v tlaku narůstala z 24 hodinové 16,8 MPa, po 3 dnech na 20,6 MPa a po 7 dnech vzrostla na 32,6 MPa. Pevnost v tahu za ohybu byla po 24 hodin 10,6 MPa, po 3 dnech 13,9 MPa a po 7 dnech 13,9 MPa.

Nejekonomičtější varianta 1:12,5, která připomínala lehce vlhký až suchý písek, měla nejnižší hodnoty pevností. Objemová hmotnost kolísala v rozmezí 1640-1710 kg·m⁻³. Pevnost v tlaku rovnoměrně rostla. Po 24 hodinách dosáhla 8 MPa, po 3 dnech 15 MPa a po 7 dnech 25,6 MPa. Tomu odpovídal nárůst pevnosti v tahu za ohybu. Po 24 hodinách byla pevnost 4,7 MPa, po 3 dnech 10,7 MPa a po 7 dnech 11,3 MPa. Je možné pozorovat, že největší nárůst pevností v tahu je do 3 dne, pak už pevnost narůstá pozvolna. Pevnost v tlaku má tendenci růst lineárně, pokud objemová hmotnost je konstantní.

ETAPA XI obsahuje výrobu polymerbetonových vzorků z referenčních křemičitých písků, které firma Atemit používá. Jeho granulometrie se pohybuje mezi ideálními křivkami 2-4 mm 0 %, 1-2 mm 5-20 %, 0,5-1 mm 38-60 % a 0,25-0,5 mm 18-20 %. Opět byly sledovány vývoj pevností po 24 hodinách, 3 dnech a 7 dnech. Poměr mísení byl 1:12,5; 1:10 a 1:7,5.

Mísící poměr 1:7,5 zajistil dosažení objemových hmotností v rozmezí 1930-1990 kg·m⁻³. Pevnost v tlaku se vyvíjela prudce rostoucím tempem. Po 24 hodinách byla pevnost 21,3 MPa, po 3 dnech 46,5 MPa a po 7 dnech dosáhla 59,9 MPa. Pevnost v tahu za ohybu dosahovala podobného růstu, po 24 hodinách se naměřila pevnost 8,7 MPa, po 3 dnech 22,8 MPa až na 7 denní pevnosti 28,7 MPa.

Poměr 1:10 zajišťuje ekonomičtější variantu. Objemové hmotnosti více kolísaly v rozmezí 1870-1980 kg·m⁻³. Pevnost v tlaku byla po 24 hodinách 36,1 MPa, po 3 dnech byla 34,6 a po 7 dnech 44,6 MPa. Pokles pevností způsobil pokles objemové hmotnosti o cca 110 kg·m⁻³ mezi 24 hodinovými hodnotami a 3 denními hodnotami, 7 denní se od 24 hodinových lišily o 70 kg·m⁻³. Tato směs se velmi špatně hutní a pravděpodobně z tohoto důvodu došlo k poklesům hodnot objemových hmotností a v návaznosti na ně i u pevností. Pevnost v tahu za ohybu potvrzuje prvotní dojem. Po 24 hodinách byla 18,6 MPa, po 3 dnech 18,7 MPa a po 7 dnech 20,3 MPa. Je prokázána úzká souvislost s objemovou hmotností a pevnostmi. Vysoká objemová hmotnost způsobila vysoké pevnosti v tlaku i v tahu za ohybu.

Nejekonomičtější poměr 1:12,5 měl objemové hmotnosti mezi 1770-1860 kg·m⁻³. Pevnosti v tlaku byly po 24 hodinách 15,8 MPa, po 3 dnech 29,5 MPa a po 7 dnech 30,1 MPa. Nízká dávka epoxidové pryskyřice způsobila nízké pevnosti v tahu za ohybu. 24 hodinové byly 6,6 MPa, 3 denní 14,4 MPa a 7 denní 14,6 MPa.

U mletého skla a křemičitých písků byla také stanovena sypná hmotnost a mezerovitost. Mleté autosklo dosáhlo hodnotu sypné hmotnosti volně sypané 1320 kg·m⁻³, v setřeseném stavu 1570 kg·m⁻³ a objemovou hmotnost 2520 kg·m⁻³. Tomu odpovídá mezerovitost volně sypaného skla 48 % a v setřeseném stavu 38 %. Křemičité písky měly sypnou hmotnost volně sypanou 1570 kg·m⁻³, v setřeseném stavu 1750 kg·m⁻³ a měrnou hmotnost 2650 kg·m⁻³. Mezerovitost křemičitého písku byla 41 % a v setřeseném stavu 34 %. Mleté sklo nemá tedy tak vhodnou křivku zrnitosti, jako používané křemičité písky, má nadbytečný prostor, který je nutné vyplnit. Z toho důvodu polymerbetony s autosklem nedokázaly překonat vlastnosti polymerbetonů s křemičitými písky. Na druhé straně v případě úpravy křivek zrnitosti recyklovaného autoskla by mohly polymerbetony s takto upraveným autosklem s velkou pravděpodobností dosáhnout stejných parametrů nebo i překonat vlastnosti polymerbetonů s křemičitými písky.

Při srovnání polymerbetonů s mletým sklem a křemičitými písky jsou patrné rozdíly. Objemová hmotnost polymerbetonů se sklem je o 60-230 kg·m⁻³ nižší než v případě použití křemičitých písků. Pevnosti v tlaku polymerbetonů se skelným recyklátem jsou o 1,6-11,1 MPa nižší než při použití křemičitého písku. Pevnost v tahu za ohybu také ukazuje rozdíl 1,6-19,4 MPa ve prospěch křemičitého písku oproti mletému sklu. Ačkoliv se nepodařilo překonat nebo dorovnat vlastnosti polymerbetonů s křemičitými písky,

úpravou na křivku zrnitosti písků by to možné bylo. Teoreticky lze prohlásit, že mleté sklo je možné používat jako plnivo do polymerbetonů. Potvrzení možnosti dosažení srovnatelných vlastností polymerbetonů s mletým autosklem a s křemičitými písky může být námětem případné další navazující práce.

Bylo také provedeno porovnání barevnosti polymerbetonů z křemičitých písků a mletého skla. Písky způsobují žluté zbarvení. S rostoucí dávkou epoxidu je barva sytější. V případě mletého skla je při poměru 1.15-1:10 zelenomodré zbarvené, které s vyšší dávkou epoxidu přechází do tmavé až černé barvy. Změna barvy není na překážku pro aplikaci autoskla do polymerbetonu.

V ETAPĚ XII byly ověřovány vlastnosti vzorků polymerbetonů z křemičitých písků velikosti $40 \times 40 \times 160$ mm. Receptury zůstaly beze změny stejně jako v ETAPĚ XI.

Objemové hmotnosti u poměru 1:7,5 byly 1850-1940 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Pevnosti rostly po 24 hodinách, 3 a 7 dnech od 30,4 MPa přes 43 MPa až po 54,4 MPa. Pevnost v tahu za ohybu byla 13,2 MPa, 17,7 MPa a 11,4 MPa. Poměr 1:10 měl objemové hmotnosti v rozmezí 1870-1890 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Pevnost v tlaku po 24 hodinách 20,4 MPa, po 3 dnech 31,0 MPa a po 7 dnech 47,6 MPa. Pevnost v tahu za ohybu 7,9 MPa, 13,5 MPa a 17,9 MPa. Objemová hmotnost u poměru 1:12,5 kolísala mezi 1800-1830 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$. Pevnost v tlaku po 24 hodinách 13,4 MPa, po 3 dnech 12,4 MPa a po 7 dnech 14,4 MPa. Pevnosti opět věrně kopírují objemové hmotnosti.

Porovnáním výsledků vlastností zjištěných na zkušebních vzorcích o rozměrech $40 \times 40 \times 160$ mm (Ref 2, dle ČSN EN 13892-2) a $20 \times 20 \times 100$ mm (Ref 1) z křemičitých písků bylo možné pozorovat, jak velký byl rozdíl mezi zkušebními vzorky nenormových a normových rozměrů. V objemové hmotnosti činí absolutní hodnoty rozmezí 0-140 $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$, kromě jednoho případu dosáhly nenormové vzorky ref 1 vyšších hodnot než normové ref 2. V pevnostech v tlaku byly rozdíly 0,2-17,2 MPa a opět kromě první hodnoty dosahovaly nenormové vzorky vyšších pevností v tlaku. U pevností v tahu za ohybu byly rozdíly mezi ref 1 a ref 2 1,2-15,7 MPa. Pouze tři hodnoty zjištěné na tělesech velikosti $40 \times 40 \times 160$ mm z devíti byly vyšší než na tělesech nenormových $20 \times 20 \times 100$ mm. Rozdíly byly způsobeny objemovými hmotnostmi. Normové zkušební vzorky $40 \times 40 \times 160$ mm bylo náročné hutnit a pravděpodobně proto se nepovedlo dosáhnout tak

velké hutnosti zajišťující objemové hmotnosti blízké $2000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Dále i homogenizace velmi malého množství pryskyřice ve značných dávkách plniva bylo také pravděpodobně důvodem nepředčení nenormových vzorků. Je možné prohlásit, že menší zkušební vzorky se u takto suchých směsí hutní mnohem snáze a přináší tak přesnější výsledky.

Shrnutí výsledků zjištěných při zpracovávání diplomové práce.

Autosklo je křehký materiál, který je pevně spojený s bezpečností fólií. K oddělení těchto dvou materiálů je vyžadováno určité množství energie, která musí působit pouze po velmi krátkou dobu. Energií k porušení vazeb mezi fólií sklem zajišťuje mlýn. Mlýn by měl pracovat kontinuálně s možností neustálého odvodu mletého skla, aby bylo zabráněno nežádoucímu domílání.

Mleté sklo je možné používat jako plnivo do polymerbetonů a má potenciál se vyrovnat používaným křemičitým pískům. V případě zajištění stejné granulometrie mletého skla jako křemičitých písků je reálný předpoklad dosažení srovnatelných vlastností polymerbetonů.

Zpracování autoskla je značně ekonomicky náročné. Recyklační linka pro zpracování autoskla by musela zpracovávat velké množství autoskla, aby dosáhla adekvátní rentability. V současné době zpracovávají v důsledku náročnosti procesu v České republice autosklo pouze tři firmy. Jejich produkce je určena pro opětovné použití ve sklářském průmyslu. Velké množství autoskla je nezpracováno a končí na skládkách. Možnost použití autoskla jako plniva do polymerbetonů je možností jak snížit spotřebu křemičitých písků a zároveň zpracovat dosud nevyužitý odpad.

Výsledky získané při řešení diplomové práce umožňují použití vybraných otestovaných receptur polymerbetonů s mletým autosklem při reálných aplikacích jako vyrovnávky nerovností pod polymerní podlahové systémy. Pro použití recyklovaného autoskla v polymerbetonových podlahách jako náhrady křemičitých písků je nutné provést korekci křivky zrnitosti mletého skla a vyjednání nižších cen mletého skla u recyklačních závodů.

IV. Seznamy

26. Bibliografie

- [1] ČSN 74 4505: *Podlahy - Společná ustanovení*. 2012. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [2] Technický list: Epoxy ST 100. In: *Remmers* [online]. Říčany u Prahy: Remmers CZ s.r.o. , 2014 [cit. 2018-12-15]. Dostupné z: www.remmers.cz/editor/image/stranky3_produkty2/tl_1160_epoxyst100.pdf
- [3] *Technický list: Atemit EPT: Strojně hlazený epoxidový podlahový systém*. Interní materiál. Brno, 2015.
- [4] Ručně natahované stěrky: Podlahy jako stvořené pro méně náročné provozy. *Atemit* [online]. Brno: GrowJOB institute, 2005 [cit. 2018-12-16]. Dostupné z: www.atemit.cz/produkty/lite-podlahy-do-lehkych-provozu/
- [5] Complete Product Range. *Johnlord: Specialist flooring* [online]. Lancashire: John L. Lord & Sons Ltd, 2018 [cit. 2018-12-16]. Dostupné z: www.john-lord.com/resin-floor-products.asp
- [6] DROCHYTKA, Rostislav. *Plastické látky: Studijní opory M01 Plastické látky*. Brno, 2007.
- [7] Průmyslové a technické podlahy. *Acidotechna* [online]. Praha: Acidotechna, 2003 [cit. 2018-12-15]. Dostupné z: ww.acidotechna.cz/cs/prumyslove-a-technicke-podlahy.html
- [8] Průmyslové podlahy: Typy podlah. *Petr's Olomouc: Výroba průmyslových podlah* [online]. Olomouc: WordPress, 2000 [cit. 2018-12-15]. Dostupné z: www.petr.com/prumyslove-podlahy/
- [9] ČSN EN 13892-2 *Zkušební metody potěrových materiálů - Část 2: Stanovení pevnosti v tahu za ohybu a pevnosti v tlaku*. Listopad. Praha: Český normalizační institut, 2003.
- [10] ČSN EN 13892-8: *Zkušební metody potěrových materiálů - Část 8: Stanovení přídržnosti*. Listopad. Praha: Český normalizační institut, 2003.
- [11] ČSN EN 13892-6: *Zkušební metody potěrových materiálů - Část 6: Stanovení tvrdosti povrchu*. Listopad. Praha: Český normalizační institut, 2003.
- [12] ČSN EN 13892-4: *Zkušební metody potěrových materiálů - Část 4: Stanovení odolnosti proti obrušování metodou BCA*. Listopad. Praha: Český normalizační institut, 2003.

- [13] ČSN 34 1382: *Zkoušení elektrostatických vlastností materiálů a výrobků*. Červen. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1988.
- [14] SUOJALEHTO, Hille, Joaquin SASTRE, Emilia MERIMAA, Irmeli LINDSTRÖM a Katri SUURONEN. Occupational Asthma From Epoxy Compounds. *The Journal of Allergy and Clinical Immunology: In Practice* [online]. 2018, **2018**(3), 4 [cit. 2018-12-16]. DOI: 10.1016/j.jaip.2018.07.023. ISSN 22132198. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2213219818304586>
- [15] KARLOVÁ, I. Kontaktní alergie na epoxidové pryskyřice. *Česko-slovenská dermatologie*. Olomouc, 2016, **2016**(3), 115-117.
- [16] BOURGUIBA, Amel, Elhem GHORBEL, Lilian CRISTOFOL a Wadia DHAOUI. Effects of recycled sand on the properties and durability of polymer and cement based mortars. *Construction and Building Materials* [online]. 2017, **153**(29), 44-54 [cit. 2019-01-02]. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2017.07.029. ISSN 09500618. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0950061817313636>
- [17] ČSN EN 1097-3 *Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva - Část 3: Stanovení sypné hmotnosti a mezerovitosti volně sypaného kameniva*. 1999. Praha: Český normalizační institut, 1999.
- [18] ČSN EN 1097-6: *Zkoušení mechanických a fyzikálních vlastností kameniva - Část 6: Stanovení objemové hmotnosti zrn a nasákavosti*. 2013. Praha: Český normalizační institut, 2013.
- [19] ČSN EN 933-1: *Zkoušení geometrických vlastností kameniva - Část 1: Stanovení zrnitosti - Sítový rozbor*. 2012. Praha: Úřadem pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [20] Retsch. *Retsch: Milling Sieving Assisting* [online]. Německo: Telemidia Act (TMG), 2018 [cit. 2018-09-01]. Dostupné z: <https://www.retsch.cz/cz/produkty/mleti/celistove-drtice/bb-200/funkce-a-charakteristiky/>
- [21] Pulverisette 6: Planetary Mono Mill. *Fritsch* [online]. Německo: Fritsch GmbH, 2018 [cit. 2018-09-02]. Dostupné z: <https://www.fritsch-international.com/sample-preparation/milling/planetary-mills/details/product/pulverisette-6-classic-line/>
- [22] *Mastersize 2000 user manual: MAN0384-1.0*. England, 2007. Dostupné také z: https://www.labmakelaar.com/fjc_documents/mastersizer-2000-2000e-manual-eng1.pdf
- [23] CFB Autosklo: GFB Autosklo Servis s.r.o. [Http://www.autosklo-autoskla.cz](http://www.autosklo-autoskla.cz) [online]. Praha: igeva, 2018 [cit. 2018-09-01]. Dostupné z: <http://www.autosklo-autoskla.cz/o-autosklech/vyroba-a-recyklace-autoskla/#recyklace-autoskla>

- [24] Hustota pevných látek. *ConVERTER* [online]. Praha: Jiří Bureš, 2002 [cit. 2018-12-09].
Dostupné z: www.converter.cz/tabulky/hustota-pevne.htm
- [25] Recyklace lepených autoskel: REMAT GLASS s.r.o., provozovna Kelčany 47, www.remat-glass.cz. In: *Česká rada pro šetrné budovy* [online]. Praha: Česká rada pro šetrné budovy., 2009 [cit. 2018-12-14]. Dostupné z: <http://www.czgbc.org/Download/REMAT%20-%20pan%20berka.pdf>
- [26] Mastersizer 2000. In: *Indiamart* [online]. India: InterMESH Ltd, 1996 [cit. 2018-11-23].
Dostupné z: <https://www.indiamart.com/proddetail/mastersizer-2000-6450031388.html>
- [27] Stěrka Atemit EPT: Vysoce odolná dle potřeby protiskluzová. *Atemit* [online]. Brno: GrowJOB institute, 2010 [cit. 2018-12-15]. Dostupné z: www.atemit.cz/produkty/mechanicky-odolne-prumyslove-podlahy/ept/
- [28] ABS: Postup: Správná realizace epoxidové podlahy. *ASB* [online]. Praha: JAGA GROUP, s. r. o., 2007 [cit. 2018-12-15]. Dostupné z: www.asb-portal.cz/stavebnictvi/strop-a-podlaha/podlaha/postup-spravna-realizace-epoxidove-podlahy
- [29] Epoxidové pryskyřice: Epoxidové pryskyřice VYSPRÁVKOVÉ HMOTY. *Uni-ekospol* [online]. Praha: Promax Media, 2015 [cit. 2018-12-15]. Dostupné z: www.uni-ekospol.cz/epoxidove-pryskyrice-vyspravkove-hmoty
- [30] Stěrka ATEMIT PTQ. *Atemit* [online]. Brno: GrowJOB institute, 2010 [cit. 2018-12-16].
Dostupné z: www.atemit.cz/produkty/mechanicky-odolne-prumyslove-podlahy/esteticka-podlaha/

27. Seznam použitých obrázků

Obrázek 1 Polymerbetonová podlaha s barevným nátěrem [3].....	15
Obrázek 2 Skladba polymerbetonové stěrky [8]	17
Obrázek 3 Sanovaná betonová deska frézováním [29]	17
Obrázek 4 Původní betonová deska [29].....	17
Obrázek 5 Kotevní můstek - penetrační nátěr [28].....	18
Obrázek 6 Polymerbeton detail [29].....	18
Obrázek 7 Hutnění polymerbetonu [29].....	18
Obrázek 8 Polymerbetonová podlaha s barevným uzavíracím nátěrem ATEMIT EPT [27]	19
Obrázek 9 Estetický polymerbetonový systém ATEMIT PTQ [30]	20
Obrázek 10 Kusové autosklo (autor).....	30
Obrázek 12 Čelistový drtič Retsch BB 200 (autor)	32
Obrázek 13 Kulový mlýn - omílací buben OM 20F (autor).....	33
Obrázek 14 Planetový mlýn Pulverisette (autor).....	33
Obrázek 15 Laserová granulometrie - Mastersize 2000 [26]	35

Obrázek 16 Schéma postupu a navazování etap	39
Obrázek 17 Střep skla před drcením (vlevo) a po drcení v čelistovém drtiči (vpravo) (autor)	41
Obrázek 18 Drcené sklo na čelistovém drtiči (autor)	42
Obrázek 19 Polymerbetonové vzorky, 1 - 1:15, 2 - 1:10 a 3 - 1:5 (autor)	75
Obrázek 20 Tvar polymerbetonových zkušebních vzorků (autor)	75
Obrázek 21 Polymerbetonové zkušební vzorky z mletého skla, nahoře 1:15, uprostřed 1:10 a dole 1:5 ETAPA IX (autor).....	83
Obrázek 22 Polymerbetonové vzorky s obsahem recyklovaného autoskla ETAPA X (autor)	91
Obrázek 23 Polymerbetonové zkušební vzorky s křemičitým pískem ETAPA XI (autor).....	99
Obrázek 24 Pyknometrické stanovení objemové hmotnosti (vlevo), stanovení sypané hmotnosti a mezerovitosti (vpravo) (autor)	100
Obrázek 25 Porovnání barvy polymerbetonů z křemičitých písků (vlevo) a mletého skla (vpravo) (autor).....	102
Obrázek 26 Referenční polymerbetony s křemičitými písky ETAPA XII (autor).....	112
Obrázek 27 Schéma recyklační linky (autor)	116
Obrázek 28 Dvourotorový kladivový mlýn [22]	116
Obrázek 29 Obrázek 26 Vlevo Bubnový mlýn s obvodovým sítem, vpravo bubnový mlýn s vyprazdňovacím roštem [22].....	117
Obrázek 30 Pomaloběžný/rychloběžný válcový mlýn, na jemné mletí a s osovým posunem [22] .	117
Obrázek 31 Síťový pásový třídič [23]	118
Obrázek 32 Válcový třídič [23].....	118
Obrázek 33 Propadový vibrační třídič [23].....	118
Obrázek 34 Domílací linka (autor).....	120
Obrázek 35 Třídící linka (autor).....	121

28. Seznam grafů

Graf 1 Křivka zmitosti - hranice ideální křivky zmitosti	31
Graf 2 Křivka zmitosti - propady ETAPA I.....	42
Graf 3 Křivka zmitosti - zůstatky ETAPA I.....	43
Graf 4 Křivka zmitosti - zůstatky ETAPA II. parametry mletí pro křivky 1-10 viz tabulka 4	46
Graf 5 Křivka zmitosti - zůstatky ETAPA III. parametry mletí pro křivky 11-26 viz tabulka 5	49
Graf 6 Křivka zmitosti - zůstatky ETAPA IV, Parametry mletí pro křivky 1-12 viz tabulka 6	54
Graf 7 Křivka zmitosti - zůstatky ETAPA V, Parametry mletí pro křivky 1.A-3.D viz tabulka 8	58
Graf 8 Výtěžnost v čase vzhledem k množství frakce 1-2 mm (množství frakce 0,5-1 mm jsou téměř stejné u všech vzorků, ETAPA V.....	58
Graf 9 Vliv změny poměru mlecích těles na výtěžnost ETAPA VI.....	63
Graf 10 Křivka zmitosti - zůstatky ETAPA VI, Parametry mletí pro křivky 1-16 viz tabulka 10.....	63
Graf 11 Vybrané křivky zmitosti – zůstatky, parametry mletí viz tabulka 12	67
Graf 12 Křivka zmitosti - zůstatky ETAPA VII, parametry mletí viz tabulka 14	68
Graf 13 Křivka zmitosti - laserová granulometrie	69
Graf 14 Křivka zmitosti - laserová granulometrie jemných podílů	69
Graf 15 Objemová hmotnost a pevnost v tlaku polymerbetonových vzorků po 24 h ETAPA VIII ..	74
Graf 16 Pevnost v tahu za ohybu ETAPA VIII.....	75

Graf 17 Objemová hmotnost a pevnost v tlaku polymerbetonových vzorků po 24 h ETAPA IX	82
Graf 18 Pevnost v tahu za ohybu v závislosti na šíři frakce plniva ETAPA IX.....	82
Graf 19 Objemová hmotnost a pevnost v tlaku polymerbetonových vzorků po 24 h, 3 a 7 dnech při různých poměrech plniva a pojiva ETAPA X.....	90
Graf 20 Pevnost v tahu za ohybu polymerbetonových vzorků po 24 h, 3 a 7 dnech při různých poměrech plniva a pojiva ETAPA X.....	90
Graf 21 Objemová hmotnost a pevnost v tlaku polymerbetonových vzorků po 24 h, 3 a 7 dnech ETAPA XI.....	98
Graf 22 Pevnost v tahu za ohybu polymerbetonových vzorků po 24 h, 3 a 7 dnech ETAPA XI.....	98
Graf 23 Objemová hmotnost – Srovnání polymerbetonů s použitím referenčních písků a skelného recyklátu	101
Graf 24 Pevnost v tlaku – Srovnání polymerbetonů s použitím referenčních písků a skelného recyklátu	101
Graf 25 Pevnost v tahu za ohybu – Srovnání polymerbetonů s použitím referenčních písků a skelného recyklátu	102
Graf 26 Objemová hmotnost a pevnost v tlaku polymerbetonových vzorků po 24 h, 3 a 7 dnech ETAPA XII.....	111
Graf 27 Pevnost v tahu za ohybu polymerbetonových vzorků po 24 h, 3 a 7 dnech ETAPA XII ...	111
Graf 28 Srovnání objemových hmotností referenčních polymerbetonů ETAPA XII	112
Graf 29 Srovnání pevností v tlaku referenčních polymerbetonů ETAPA XII	113
Graf 30 Srovnání pevností v tahu za ohybu referenčních polymerbetonů ETAPA XII	113

29. Seznam tabulek

Tabulka 1 Charakteristika epoxidové pryskyřice (viz příloha 1)	30
Tabulka 2 Horní a dolní křivka cílené zmitosti.....	31
Tabulka 3 Mletí na čelistovém drtiči a kulovém mlýně.....	42
Tabulka 4 Mletí na planetovém mlýně ETAPA II	45
Tabulka 5 Mletí na planetovém mlýně ETAPA II	48
Tabulka 6 Mletí na kulovém mlýně ETAPA IV.....	51
Tabulka 7 Křivka zmitosti - kulový mlýn ETAPA IV	53
Tabulka 8 Mletí na kulovém mlýně ETAPA V.....	57
Tabulka 9 Křivka zmitosti - kulový mlýn ETAPA V	57
Tabulka 10 Mletí na kulovém mlýně ETAPA VI.....	61
Tabulka 11 Křivka zmitosti - kulový mlýn ETAPA VI	62
Tabulka 12 Vybrané vzorky	66
Tabulka 13 Vybrané křivky zmitosti - zůstatky	66
Tabulka 14 Mletí na kulovém mlýně - vybrané vzorky ETAPA VII.....	67
Tabulka 15 Křivka zmitosti - vybrané vzorky ETAPA VII	68
Tabulka 16 Receptura ETAPA VIII	72
Tabulka 17 Plnivo - skelný recyklát ETAPA VIII	73
Tabulka 18 Rozměry a objemové hmotnosti polymerbetonových zkušebních vzorků ETAPA VIII	73
Tabulka 19 Vlastnosti polymerbetonových vzorků po 24 h ETAPA VIII	74
Tabulka 20 Receptura ETAPA IX.....	77

Tabulka 21 Plnivo - skelný recyklát ETAPA IX.....	78
Tabulka 22 Receptura ETAPA IX - schéma kombinace plniva a pojiva	78
Tabulka 23 Rozměry a objemové hmotnosti polymerbetonových zkušebních vzorků po 24 h (ETAPA IX) Plnivo frakce 0,25-2 mm	79
Tabulka 24 Vlastnosti polymerbetonových vzorků po 24 h (ETAPA IX)	79
Tabulka 25 Rozměry a objemové hmotnosti polymerbetonových zkušebních vzorků po 24 h (ETAPA IX) Plnivo frakce 4-0,25 mm	80
Tabulka 26 Vlastnosti polymerbetonových vzorků po 24 h (ETAPA IX)	80
Tabulka 27 Rozměry a objemové hmotnosti polymerbetonových zkušebních vzorků po 24 h (ETAPA IX)	81
Tabulka 28 Vlastnosti polymerbetonových vzorků po 24 h (ETAPA IX)	81
Tabulka 29 Receptura ETAPA X	86
Tabulka 30 Plnivo - skelný recyklát ETAPA X	86
Tabulka 31 Rozměry a objemové hmotnosti vzorků s poměrem 1:7,5 (ETAPA X)	87
Tabulka 32 Vlastnosti polymerbetonových vzorků s poměrem 1:7,5 (ETAPA X)	87
Tabulka 33 Rozměry a objemové hmotnosti vzorků s poměrem 1:10 (ETAPA X)	88
Tabulka 34 Vlastnosti polymerbetonových vzorků s poměrem 1:10 (ETAPA X)	88
Tabulka 35 Rozměry a objemové hmotnosti vzorků s poměrem 1:12,5 (ETAPA X)	89
Tabulka 36 Vlastnosti polymerbetonových vzorků s poměrem 1:12,5 (ETAPA X)	89
Tabulka 37 Receptura ETAPA XI	94
Tabulka 38 Rozměry a objemové hmotnosti vzorků s poměrem 1:7,5 (ETAPA XI)	95
Tabulka 39 Vlastnosti polymerbetonových vzorků s poměrem 1:7,5 (ETAPA XI)	95
Tabulka 40 Rozměry a objemové hmotnosti vzorků s poměrem 1:10 (ETAPA XI)	96
Tabulka 41 Vlastnosti polymerbetonových vzorků s poměrem 1:10 (ETAPA XI)	96
Tabulka 42 Rozměry a objemové hmotnosti vzorků s poměrem 1:12,5 (ETAPA XI)	97
Tabulka 43 Vlastnosti polymerbetonových vzorků s poměrem 1:12,5 (ETAPA XI)	97
Tabulka 44 Stanovení objemové hmotnosti pyknometrickou zkouškou	99
Tabulka 45 Sypná hmotnost a mezerovitost skelného recyklátu a referenčního písku	100
Tabulka 46 Receptura ETAPA XII	107
Tabulka 47 Rozměry a objemové hmotnosti vzorků s poměrem 1:7,5 (ETAPA XII)	108
Tabulka 48 Vlastnosti polymerbetonových vzorků s poměrem 1:7,5 (ETAPA XII)	108
Tabulka 49 Rozměry a objemové hmotnosti vzorků s poměrem 1:10 (ETAPA XII)	109
Tabulka 50 Vlastnosti polymerbetonových vzorků s poměrem 1:10 (ETAPA XII)	109
Tabulka 51 Rozměry a objemové hmotnosti vzorků s poměrem 1:12,5 (ETAPA XII)	110
Tabulka 52 Vlastnosti polymerbetonových vzorků s poměrem 1:12,5 (ETAPA XII)	110

30. Seznam použitých zkratek

30.1. Popisky

Mlecí tělesa:

33 + 50 ($\frac{1}{2}$ 50)..... {velikost mlecích těles} {+ značí směs více velikostí mlecích těles}
({množství těles např. $\frac{1}{2}$ - polovina z celkového množství} {velikost mlecích těles})

Polymerbetony:

1 1:15 0,25-2 {číslo receptury} {poměr mísení} {frakce plniva}

1 1:10 24 H..... {číslo receptury} {mísící poměr epoxid:plnivo} {doba zrání}

Plnivo:

0,25-2 {frakce plniva}

<0,25-2<..... {<0,25 - přídavek podsítného zbytku, nejčastěji v množství 10 %
z celkové hmotnosti plniva; 2< - přídavek nadsítného zbytku}

31. Seznam příloh

Příloha 1 Použitá epoxidová pryskyřice Epoxy ST 100 – Technický list

Stránka 1 ze 4



Technický list
Číslo výrobku 1160

Epoxy ST 100

Transparentní pryskyřice pro základní povlaky a plast malty v systému Remmers OS 8.



Poměr
mísení



Teplota
zpracování



Míchací
doba



Nátěrem,
válečkováním
lítím,
roztahováním



Reakční
doba



Skladovat
nad bodem
mrazu



Doba
skladování

Oblasti použití:

Nepigmentované pojivo z epoxidové pryskyřice používané jako impregnace, základová penetrace, adhezni můstek, vyrovnávací vrstva a dále pro výrobu tlaku odolných malt, litých povlaků, jakož i pro zaspávané povlaky:

Příklady použití:

- Supermarkety
- Dílny
- Silně frekventovaná schodiště
- Výrobní haly
- Montážní oblasti
- Haly loděnic
- Skladovací prostory pro těžké náklady

Vlastnosti výrobku:

Transparentní dvousložková epoxidová tekutá pryskyřice na bázi Bisphenolu A.

- Nízká viskozita
- Dobrá penetrační schopnost
- Bez změkčovadel
- Bez nonyfenolů a alkylfenolů
- Odolná proti vysokému mechanickému zatížení
- Odolná proti chemickému zatížení

Údaje o výrobku:

	Složka A	Složka B	Směs
Hustota (25°C):	1,12 g/cm ³	1,03 g/cm ³	1,1 g/cm ³
Viskozita (25°C):	870 mPas	200 mPas	600 mPas
Pevnost v tlaku:	1:10 malta*		
Pevnost v tahu za ohybu:	42 N/mm ²		
	11 N/mm ²		

*Malta z epoxidové pryskyřice s normovaným pískem

Podklad:

Podklad musí být nosný, tvarově stálý, pevný, nesmí obsahovat uvolněné částice, prach, oleje, tuky, oděr z pryže a jiné substance působící jako dělicí prvky. Pevnost povrchu podkladu v tahu musí činit v průměru 1,5 N/mm², pevnost v tlaku min. 25 N/mm².

Podklady musejí dosáhnout vyrovnané vlhkosti a musejí být zabezpečeny proti pronikání vlhkosti zespodu.

- Beton max. 4 % hmotnostní
- Cementová stěrka max. 4 % hmotnostní
- Anhydritová stěrka max. 0,3 % hmotnostní
- Magnezitová stěrka 2 – 4 % hmotnostní

V anhydritové a magnezitové stěrce je třeba bezpodmínečně vyloučit průnik vlhkosti ze stavebních součástí nebo z půdy.

Příprava podkladu:

Podklad připravte pomocí vhodných opatření, jako např. kuličkovým tryskáním nebo broušením diamantem, tak, aby splňoval uvedené požadavky. Trhliny nebo vadná místa v podkladu je třeba vyplnit pomocí prostředků PCC Remmers nebo epoxidovými maltami Remmers.

1160-TM-10.13.doc

Remmers CZ s.r.o. · Kolovratská 1445 · 251 01 Říčany u Prahy · Tel. +420 323 604 877 · Fax: +420 323 603 143

www.remmers.cz

Příprava:

Do základní hmoty (složky A) přidejte vytvzovací prostředek (složku B). Intenzivně promíchejte pomocí pomalu se rozbíhajícího míchadla (max. 300 - 400 otáček/min.). Přelijte do jiné čisté nádoby a znovu důkladně promíchejte. U plněných systémů se do směsi epoxidové pryskyřice za pomalého míchání přidává plnivo v množství, odpovídajícím požadované aplikaci, vše se poté znovu důkladně promíchá, nanese a rozprostře na plochu pomocí vhodných prostředků (pomůcek).

Poměr směsi:

75 : 25 hmotnostních dílů

Zpracování:

Při 20°C a 60 % relativní vlhkosti vzduchu cca 25 minut. Vyšší teploty dobu zpracovatelnosti zkracují, nižší ji prodlužují.

Pokyny pro zpracování:

Při zpracování používejte vhodné ochranné pomůcky (viz dále Osobní ochranné vybavení).

Pro zpracování v OS 8-System viz pokyny pro zpracování OS 8.

Způsob nanášení

Podle požadované aplikace, zpravidla pomocí gumové stěrky a epoxidového válečku nebo nerezového hladítka.

Čekací doby

Čekací doby mezi jednotlivými pracovními kroky by při 20 °C měly činit minimálně 12 hodin a maximálně 2 dny. Při čekacích dobách nad 48 hodin se povrch předchozího pracovního kroku musí začerstva posypat vysušeným křemičitým pískem. Uvedená doba se vyššími teplotami zkracuje a nižšími prodlužuje.

Teplota při zpracování

Teplota materiálu, okolního vzduchu a podkladu musí být minimálně + 8 °C, maximálně + 30 °C. Relativní vlhkost vzduchu nesmí překročit 80 %. Teplota podkladu musí být minimálně + 3 °C nad teplotou rosného bodu.

Doba schnutí

Při 20 °C a 60 % relativní vlhkosti vzduchu: pochozí po 1 dni, mechanicky zatížitelný po 3 dnech, zcela vytvrdlý po 7 dnech. Při nižších teplotách déle.

Během procesu tvrdnutí (cca 24 hodin při 20 °C) je nutné chránit nanesený materiál před vlhkem, protože jinak mohou vznikat poruchy v povrchu a dále může dojít ke snížení přilnavosti produktu k podkladu.

Příklady použití:**Impregnace/zpevnění:**

Čistá pryskyřice se naředí 20 % prostředkem Verdünnung V 101 a nanáší se na plochu až do úplného nasycení, rozptýlí se pomocí vhodného prostředku, např. gumovou stěrku, a pak se pomocí epoxidového válečku zapracuje do podkladu. Spotřeba epoxidové pryskyřice podle podkladu a druhu aplikace, cca 0,30 – 0,50 kg/m².

Pro zpracování v OS 8-System viz pokyny pro zpracování OS 8.

Základní nátěr:

Čistá pryskyřice se nanese sytě na plochu. Pomocí vhodných prostředků, např. gumové stěrky, se rozptýlí tak, že se objem pórů podkladu zcela vyplní. Následně se zapracuje pomocí epoxidového válečku do podkladu. Spotřeba podle podkladu a druhu aplikace, cca 0,30 – 0,50 kg/m².

Vyrovňovací vrstva/Škrábaná tmelící vrstva

Materiál naplněný až do poměru 1:1 podle hmotnostních dílů, se pomocí hladítka nebo špachtle nanese na plochu opatřenou základním nátěrem a případně se tzv. „odvzdušní“ pomocí ježatého válce. Spotřeba na 1 mm tloušťky vrstvy: cca 0,85 kg/m² epoxidové pryskyřice a 0,85 kg/m² SelectMix 05.

Lité a zasypávané povlaky

Materiál naplněný až do poměru 1:1,5 podle hmotnostních dílů, se nanese na plochu opatřenou základním nátěrem a rozptýlí pomocí ozubené lžice nebo ozubené gumové stěrky a tzv. se „odvzdušní“ pomocí ježatého válce.

Spotřeba na 1 mm tloušťky vrstvy: cca 1,00 kg/m² epoxidové pryskyřice a 1,50 kg/m² SelectMix SBL.

Kapalinám odolný epoxidový potěr:

Materiál naplněný až do poměru 1:5 podle hmotnostních dílů, se pomocí hladící lžice nanese a vyrovná (vyhladí). Spotřeba na 1 mm tloušťky vrstvy: cca 0,3 kg/m² epoxidové pryskyřice a 1,5 kg/m² SelectMix 25.

Epoxidový potěr s otevřenými póry:

Materiál naplněný až do poměru 1:10 podle hmotnostních dílů, se pomocí hladící lžice nanese a vyrovná (vyhladí). Spotřeba na 1 mm tloušťky vrstvy: cca 0,2 kg/m² epoxidové pryskyřice a 2,0 kg/m² SelectMix 25.

Pracovní nástroje, čištění:

Hladící lžice, ozubená lžice, nerezové hladítko, gumová stěrka, epoxidový váleček, ježatý váleček, míchací přístroj, případně míchačka s nuceným oběhem. Pracovní nástroje a případné znečištění je možné vyčistit ihned v čerstvém stavu prostředkem V 101.

Osobní ochranné vybavení:

Vhodné rukavice z nitrilového kaučuku (například Tricotril od firmy KCL), ochranné brýle, ochranný oblek proti postříkání. Košile s dlouhými rukávy nebo návleky na ruce.

Upozornění:

Všechny výše uvedené hodnoty a spotřeby byly provedeny za laboratorních podmínek (20 °C) a se standardními barevnými odstíny. Při zpracování na stavbách se mohou některé hodnoty mírně lišit.

Brusné mechanické zatížení způsobuje stopy opotřebení povrchu nátěru. Produkt není vhodný pro vozidla s kovovými nebo polyamidovými koly! Pro souvislé plochy je nutno použít jen nátěry stejného čísla šarže, předejdete tím rozdílu v barvě, lesku nebo struktuře finálního povrchu.

Rozdílná savost podkladu má za důsledek strakatost ve vzhledu finálního povrchu.

Pod vlivem UV záření a povětrnostními vlivy epoxidové pryskyřice obecně nejsou barevně stálé.

Další pokyny pro zpracování, systémové skladby a péči o uvedené produkty jsou uvedeny v aktuálních Technických listech, v systémových doporučeních Remmers, stejně jako v pokynech pro aplikaci produktů společnosti Remmers.

Balení, spotřeba, skladovatelnost:

Balení:
Bílý plechový obal uvnitř lakovaný 2,5 kg, 10 kg a 25 kg (na vyžádání).

Spotřeba:
Dle druhu aplikace mezi 0,2 – 0,85 kg/m².

Skladovatelnost:
Uzavřené v originálním obalu, nesmíchané a skladované nad bodem mrazu, minimálně 12 měsíců.

Bezpečnost, Ekologie, Likvidace:

Bližší informace o bezpečnosti při dopravě, skladování, manipulaci a také o likvidaci a ekologii najdete v aktuálním Bezpečnostním listě.

GISCODE: RE 01
Obsah VOC:
Mezní hodnota EU pro výrobky kat. A/j je 500 g/l (2010).
Tento výrobek obsahuje méně než 500 g/l VOC.



CE	
0761-CPD	
Remmers Baustofftechnik GmbH Bernhard-Remmers-Str. 13 D – 49624 Lönningen 10 GBIII 012_2	
EN 1504-2:2004 Výrobek pro povrchovou ochranu ploch - nátěr EN 1504-2: ZA.1d, ZA.1f und ZA.1g	
Lineární smrštění	≤ 0,3 %
Pevnost v tlaku	Třída II
Odolnost oděru ¹⁾	Ztráta oděrem < 3000 mg
Propustnost oxidu uhličitého CO ₂	s _D > 50 m
Propustnost pro vodní páru	Třída III
Kapilární nasákavost a propustnost vody	w < 0,1 kg/m ² x h ^{0,5}
Tepelná slučitelnost	≥ 2,0 (1,5) ²⁾ N/mm ²
Odolnost vůči silnému chemickému napadení (Třída I)	Ztráta tvrdosti < 50 %
Odolnost proti úderu	Třída I
Odrhová zkouška	≥ 2,0 (1,5) ²⁾ N/mm ²
Reakce na oheň	NPD
Protismykové vlastnosti	Třída III

	
0761-CPD Remmers Baustofftechnik GmbH Bernhard-Remmers-Str. 13 D – 49624 Lörninge 10 GBIII 012_2	
EN 13813:SR – B1,5-AR1-IR4 Výrobek pro povrchovou ochranu ploch - nátěr EN 13813: SR – B1,5 – AR1 – IR4	
Reakce na oheň	B _{fl} -s1
Uvolňování korozivních látek	SR
Propustnost vody	NPD
Odolnost proti obrusu	≤ AR1
Přidržitost	≥ B1,5
Odolnost proti rázu	≥ IR4

Výše uvedené údaje jsme sestavili na základě podkladů našeho výrobního úseku podle nejnovějšího stavu vývoje a používané techniky. Za aplikaci a zpracování nepřebírá výrobce záruku, protože na tyto sféry nemá žádný vliv.

Údaje přesahující rámec technického listu či odlišné údaje vyžadují písemné potvrzení kmenového závodu.

V každém případě platí naše všeobecné obchodní podmínky. Vydáním těchto technických listů pozbývají všechny předešlé svou platnost. SS 09/14

1160-TM-10.13.doc

